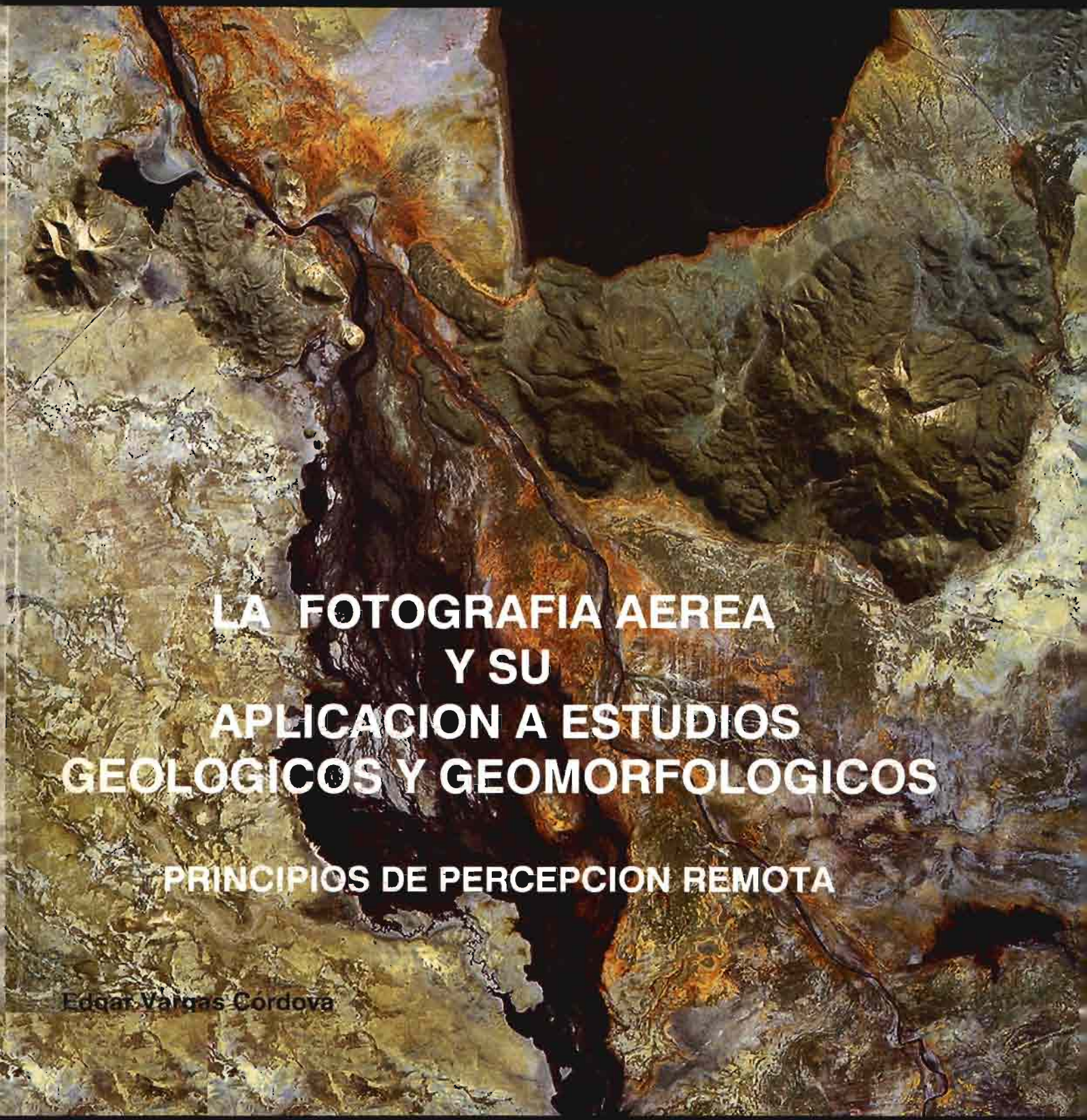
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES



LA FOTOGRAFIA AEREA Y SU APLICACION A ESTUDIOS GEOLOGICOS Y GEOMORFOLOGICOS

PRINCIPIOS DE PERCEPCION REMOTA

Edgar Vargas Córdova

TOMO I

ORSTOM INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

FOTO DE LA PORTADA.- Imagen LANDSAT-TM Mapeador Temático-Combinación de Bandas-Proporciones (ratios) 5/7-5/4-3/1-Enmascaramiento de agua y vegetación. La imagen muestra los yacimientos auríferos de La Joya-Koricollo (Inti Raymi) (Atención del Proyecto BID-USGS-GEOBOL)

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

LA FOTOGRAFIA AEREA Y SU APLICACION A ESTUDIOS GEOLOGICOS Y GEOMORFOLOGICOS

PRINCIPIOS DE PERCEPCION REMOTA

TOMO I

Edgar Vargas Córdova
Facultad de Ciencias Geológicas
Universidad Mayor de San Andrés

LA PAZ -BOLIVIA
1992

ORSTOM INSTITUT FRANCAISE DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

Editores: Universidad Mayor de San Andrés

Depósito Legal:

4-1-76-92

Impresores: Imprenta del Comité Ejecutivo de la Universidad Boliviana

Av. Arce 2606

La Paz - Bolivia

Autor Edgar Vargas Córdova

Prohibida su reproducción parcial, total o ser transmitido ya sea por procedimientos electrónicos, mecánicos incluyendo fotocopias, grabaciones magnéticas, o cualquier almacenamiento de información y sistemas de recuperación, sin permiso del autor.

LA FOTOGRAFIA AEREA
Y SU
APLICACION A ESTUDIOS
GEOLOGICOS Y GEOMORFOLOGICOS

PRINCIPIOS DE PERCEPCION REMOTA

TOMO I

A mi esposa, mis hijos, Rita,
Marco Antonio, Ricardo, Sergio,
y a la memoria de mis padres.

PROLOGO

Durante los últimos 20 años, se ha producido un avance inusitado en aquellas técnicas, mediante las cuales es posible conocer e investigar la potencialidad de los Recursos Naturales de nuestro planeta. Estas nuevas técnicas y métodos se hallan englobadas en un vasto campo ahora conocido como Percepción Remota, el que a su vez incluye el uso de técnicas de interpretación de fotografías aéreas y el de imágenes de satélite, para los propósitos ya indicados.

La aplicación de fotografías aéreas y el de imágenes de satélite para obtener información geológica, es imprescindible, especialmente en cualquier trabajo de exploración minera, petrolera diseño de carreteras, ubicación de presas, evaluación, aprovechamiento y conservación de los recursos de un país, especialmente en aquellas zonas de difícil accesibilidad.

La necesidad de un texto en nuestro idioma, en el que se presenten los elementos y principios básicos relacionados con esta nueva técnica-ciencia de Percepción Remota, ha incentivado al autor a escribir este libro, que además de contener la parte teórica, existente en la gran cantidad de textos de esta naturaleza en otros idiomas, contiene una sección, resultado de la experiencia del autor en el campo específico de la Fotogeología, plasmada en ciento trece modelos de fotografías aéreas con ejemplos clasicos de la Geología de diferentes regiones de nuestro territorio, incluyendo la descripción de las características geológicas de las mismas.

Los rápidos cambios que se experimentan en el campo de la Percepción Remota, encierran un amplio rango de conocimientos que hacen imposible presentar un texto completo y actualizado con todas las innovaciones y adelantos de esta disciplina, por ello este compendio solo pretende presentar los conceptos y principios básicos y elementales en los que se basa esta nueva técnica.

Los datos obtenidos a través de sensores instalados en satélites o aviones, pueden ser manejados de manera cualitativa y o cuantitativa. La primera, está directamente relacionacionada con la interpretación visual de las fotografías aéreas y de satélite, propósito principal de este texto, mientras que la segunda, corresponde a un método más sofisticado y en experimentación en lo que a Geología se refiere. Para este propósito los datos son registrados y almacenados en forma digital para su uso a través de sistemas de computación, con programas especialmente diseñados para dichos fines. Los resultados obtenidos mediante este método de análisis, instrumentados por computadoras, son fundamentalmente cuantitativos (númericos y estadísticos), tópicos que solo se mencionan de manera muy general en el presente texto. En gran parte el libro está diseñado en base a la experiencia de veinticinco años transmitidos a través de los cursos de Fotogeología, Geomorfología y Geología de Campo impartidos por el autor como Catedrático en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Mayor de San Andrés. (La Paz - Bolivia), por ello el texto está preparado especialmente para estudiantes de la Carrera de Geología de la Universidad Boliviana, como también para Universidades de otros paises de latinoamerica. Se espera, que el libro pueda dar la información necesaria a profesionales geólogos, así como a especialistas en Recursos Naturales, que por las características de su trabajo no tienen experiencia en estas técnicas, de manera que puedan comprobar el valor y las limitaciones del uso de fotografías aéreas e imágenes de satélite.

La educación y el entrenamiento de profesionales en Percepción Remota, es una decisión importante para las naciones con menor desarrollo tecnológico, especialmente para cumplir con dos propósitos fundamentales:

a) Conocer los beneficios y ventajas que estas técnicas pueden ofrecer en la investigación de los Recursos naturales de una región y adecuarlos a los propios objetivos que cada nación tiene en la investigación de sus Recursos Naturales.

b) Conocer las desventajas, especialmente costos y limitaciones que puedan tener estas técnicas. Ello previene o evita que los países de menor desarrollo tecnológico, que de manera general son los consumidores de esta tecnología, sepan elegir los equipos que realmente sean imprescindibles para sus investigaciones y no adquieran equipos demasiado costosos y sofisticados que a la larga constituyen una carga, por el alto costo de mantenimiento y probablemente estén sobredimensionados para los fines requeridos.

Este libro se halla dividido en dos tomos y constituído por tres partes.

La primera "ELEMENTOS DE PERCEPCION REMOTA", presenta los conceptos y elementos básicos en los que se basa esta técnica, constituyendo una base para que el estudiante o lector que quiera profundizar los temas que comprenden ésta y no tengan dificultad al acudir a bibliografía más especializada.

La segunda parte, "INTERPRETACION GEOLOGICA Y GEOMORFOLOGICA MEDIANTE EL USO DE FOTOGRAFIAS AEREAS E IMAGENES DE SATELITE" constituye la parte esencial y fundamental del texto, pretende dar al estudiante, a través de los diferentes capítulos una base sólida, para realizar la interpretación geológica de fotografías aéreas e imágenes de satélite, utilizando los criterios y técnicas que se presentan en ella.

La tercera, contenida en el segundo tomo, es un complemento de la segunda parte, presenta en forma secuencial las prácticas que debe realizar un estudiante hasta llegar a la interpretación de los ciento trece modelos estereoscópicos, relacionados con ejemplos de Bolivia, de manera que llegue a familiarizarse con las características geológicas, geomorfológicas, estructurales y litológicas de las diferentes regiones de nuestro territorio.

Las descripciones y los datos que acompañan a cada modelo fotográfico no son completos, ya que resulta muy difícil conseguir incluir la descripción de todas las combinaciones de la información existente en cada uno de ellos. Por esta razón, en los modelos se enfatiza la característica geológica, geomorfológica, estructural o litológica más importante, teniendo el estudiante la posibilidad de especular y complementar la información existente. Conformado de esta manera este texto, cumple el objetivo fundamental para su preparación, establecer un curso de enseñanza a nivel universitario, básicamente dirigido al aprendizaje en la interpretación "visual" estereoscópica de las fotografías aéreas y la interpretación visual monoscópica de imágenes de satélite.

Por estas consideraciones, el autor piensa haber contribuído con este texto, al mejor conocimiento de estas técnicas, en procura de un beneficio no solo para estudiantes, sino también para geólogos y otros profesionales que trabajan en el campo de los Recursos Naturales.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Mayor de San Andrés, que mediante la concesión del beneficio del Año Sabático, me ha permitido durante ese año, realizar la preparación de este texto, que es el fruto del trabajo y la experiencia de mi vida profesional.

A las anteriores autoridades de la Universidad Mayor de San Andrés, Licenciado Pablo Ramos Sánchez, ex-Rector, quien apoyó en todo momento la publicación del libro. Especial agradecimiento a la Dra. Nila Heredia Miranda, ex-Vicerrectora de la Universidad Mayor de San Andrés, quien fué la impulsora para que este texto sea una realidad.

A las actuales autoridades de la Universidad Mayor de San Andrés, Ing. Antonio Saavedra Muñoz y Dr. Gonzalo Taboada López, Rector y Vicerrector, quienes se interesaron y apoyaron en la última fase de la publicación de este texto.

Quedo reconocido a las autoridades de la Facultad de Ciencias Geológicas, que a través del Honorable Consejo Facultativo y su comisión de revisión y aprobación del texto, haya aprobado y recomendado la impresión y publicación del mismo.

No puedo dejar de mencionar a mi familia en especial a mi esposa Edith y mis hijos que en todo momento me han apoyado y animado en esta empresa. A mi hijo Marco Antonio, que me colaboró en el procesamiento de los datos mediante el uso de varios programas de computación, en especial en la preparación de la información contenida en la descripción de los modelos estereoscópicos, cuyos datos fueron seleccionados y clasificados utilizando los mencionados programas de computación. De igual manera a mi hija Rita que participó en la transcripción de varios capítulos.

Al Instituto Geográfico Militar, a través de su Comandante, General de Brigada Jorge Escobar Sánchez, que autorizó la reproducción de las fotografias aéreas utilizadas en la preparación de los modelos estereoscópicos. Deseo destacar la colaboración económica recibida de la Oficina de Investigación Científica y Técnica para Ultramar (ORSTOM) de la República de Francia, utilizada para cubrir parte del costo de impresión de este texto. Mi agradecimiento al Dr. Gérard Hérail, miembro de ORSTOM y Co-Director del Convenio UMSA-ORSTOM (Facultad de Ciencias Geológicas), por su apoyo en el financiamiento ofrecido por ORSTOM para la publicación del texto. Al personal de dibujantes del Centro de Investigaciones Geológicas, Srs. Simón Sánchez y José Loroño, que colaboraron en la preparación y corrección de varias láminas.

A los colegas docentes de la Facultad de Ciencias Geológicas por sus aportes en la corrección y sugerencias a algunos capítulos del texto.

De igual manera expreso mis agradecimientos al Sr. Antonio Campos Merino por la supervisión en la diagramación y composición y a las señoras Betzabé E. de Echenique y Patricia A. de Jahnsen por la composición del mismo.

Por último, mi agradecimiento a todas aquellas personas amigas que de una u otra manera, me dieron su aliento y apoyo en este propósito.

INDICE GENERAL

TOMO I

Prólogo		Pag.	ix
Agradecimientos		Pag.	xi
Indice general		Pag:	xiii
Indice de contenidos		Pag.	xv
PARTE I	Elementos de Percepción Remota	Pag.	1
PARTE II	Interpretación Geológica y Geomorfológica mediante el uso de Fotografías Aéreas e Imágenes de Satélite	Pag.	179
Indice bibliográfico		Pag.	421
Indice alfabético		Pag.	427

TOMO II

Indice general		Pag.	v
Indice de contenidos		Pag.	vii
PARTE III	Ejercicios Prácticos	Pag.	437
PARTE IV	Descripción de los Modelos Estereoscópicos	Pag.	461
Anexos Modelos estereoscópicos		Pag.	803

INDICE DE CONTENIDOS

TOMO I

Prólogo		ix
Agradecimientos		xi
Indice General		xiii
Indice de Contenidos		xv

PARTE I ELEMENTOS DE PERCEPCION REMOTA

CAPITULO I	**CONCEPTOS GENERALES**	
1.1	INTRODUCCION	1
1.2	PERCEPCION REMOTA - TELEDETECCION-FOTOINTERPRETACION Y FOTOGEOLOGIA	1
1.2.1	Antecedentes históricos	1
1.2.2	Futuro de la percepción remota	31
1.2.3	Definiciones	38
CAPITULO II	**RADIACION ELECTROMAGNETICA Y EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO**	
2.1	INTRODUCCION	53
2.2	RADIACION ELECTROMAGNETICA	53
2.3	PROPIEDADES DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS	55
2.3.1	Velocidad de propagación	55
2.3.2	Longitud de onda	55
2.3.3	Frecuencia de onda	56
2.3.4	Amplitud de onda	57
2.3.5	Polarización	57
2.4	CUANTIFICACION DE LA POTENCIA RADIADA	60
2.4.1	Energía radiante	60
2.4.2	Flujo radiante (Potencia)	60
2.4.3	Irradianza	61
2.4.4	Exitancia o emitancia radiante	61
2.4.5	Medidas ángulares - Angulo sólido	61
2.4.6	Intensidad	62
2.4.7	Radianza	63
2.5	LEYES DE LA RADIACION	63
2.5.1	Ley de Stefan-Boltzmann	65
2.5.2	Ley de Kirchof	65
2.5.3	Ley de Desplazamiento de Wien	66
2.5.4	Ley de Lambert	66
2.6	EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO	68
2.6.1	División de las regiones del espectro electromagnético	68
2.6.1.1	Espectro visible	68
2.6.1.2	Espectro invisible	69
2.7	FUENTES PRINCIPALES DE RADIACION ELECTROMAGNETICA	74
2.8	INTERACCION DE LA RADIACION ELECTROMAGNETICA-CON LA ATMOSFERA Y LOS MATERIALES DE LA SUPERFICIE TERRESTRE	76
2.8.1	Interacciónes con la atmósfera	76
2.8.1.1	Dispersión	78

2.8.1.1.1	Dispersión selectiva	78
2.8.1.1.2	Dispersión no selectiva	80
2.8.1.2	Absorción	80
2.8.1.3	Ventanas atmosféricas	81
2.8.1.4	Refracción	83
2.8.2	Interacción con los materiales de la superficie terrestre	84
2.8.2.1	Reflexión	85
2.8.2.1.1	Reflexión especular	85
2.8.2.1.2	Reflexión difusa	86
2.8.2.2	Absorción	87
2.8.2.3	Transmisión	89
2.9	SISTEMA PARA LA OBTENCION DE DATOS EN PERCEPCION REMOTA	90
CAPITULO III	**SENSORES REMOTOS**	
3.1	INTRODUCCION	93
3.2	CLASIFICACION DE LOS SENSORES REMOTOS	93
3.2.1	Clasificación en función de la fuente emisora	94
3.2.1.1	Sensores pasivos	94
3.2.1.2	Sensores activos	94
3.2.2	Clasificación en función de la forma de obtener y entregar la información detectada	94
3.2.2.1	Sistemas de sensores con registro de información espectral	94
3.2.2.1.1	Radiómetros	95
3.2.2.1.2	Espectroscopios	97
3.2.2.2	Sistemas de sensores formadores de imágenes	99
3.2.2.2.1	Sistemas de barredores lineales	100
.2.2.2.1.a	Barredores transversales a la dirección deVuelo	101
3.2.2.2.1.b	Barredores tipo pushbroom o de barrido a lo largo de la dirección de vuelo	107
3.2.2.2.1.c	Barredores de registro lateral a la dirección de Vuelo	109
3.2.2.2.2	Sistema formador de imagen por conversión de imagen electrónica (Tipo Vidicon)	109
3.2.2.2.3	Sensores activos de microonda - radar	110
3.2.2.2.3.a	Radar aéreo de vista lateral (SLAR)	111
3.2.2.2.4	Sistema fotográfico	118
3.2.2.2.4.1	Clasificación de las cámaras aéreas:	123
3.2.2.2.4.1.a	Clasificación de las cámaras aéreas considerando la inclinación del eje de la cámara	124
3.2.2.2.4.1.b	Clasificación de las cámaras aéreas considerando el formato	124
3.2.2.2.4.1.c	Clasificación de las cámaras aéreas considerando el formato y el campo angular de la lente	128
3.2.2.2.4.1.d	Clasificación de las cámaras aéreas considerando su aplicación	128
3.2.2.2.4.1.e	Clasificación de las cámaras aéreas considerando el tipo de material fotográfico utilizado	128
3.2.2.2.4.1.f	Clasificación de las cámaras aéreas considerando el número de lentes (Objetivos) y bandas espectrales	128
3.2.3	Clasificación de los sensores remotos en función de la ubicación de la fuente emisora y la fuente receptora	134
3.3	DETECTORES DE RADIACION ELECTROMAGNETICA	135
3.3.1	Detectores termales	135
3.3.2	Detectores cuánticos o de fotón	136
3.3.2.1	Detectores infrarrojo	136
3.3.2.1.1	Tipos de detectores infrarrojos cuánticos	137
3.4	CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE OBTENCION DE DATOS EN PERCEPCION REMOTA	139
3.4.1	Registro gráfico	139
3.4.2	Registro digital	139
3.5	RESOLUCION DE LA IMAGEN	141

3.5.1	Medidas de la resolución	144
3.6	ESCALA	147
CAPITULO IV	**FOTOGRAFIA AEREA Y PELICULAS FOTOGRAFICAS**	
4.1	INTRODUCCION	149
4.2	FOTOGRAFIA AEREA	149
4.3	PELICULAS FOTOGRAFICAS	150
4.3.1	Constitución de la película Blanco y Negro	150
4.3.1.1	Base o soporte	151
4.3.1.2	Emulsíón fotográfica	151
4.3.1.3	Sobrecubierta	153
4.3.2	Tipos de películas fotográficas	153
4.3.2.1	Películas Blanco y Negro	153
4.3.2.1.1	Emulsiones no cromatizadas o ciegas	153
4.3.2.1.2	Emulsiones cromatizadas	153
4.3.2.2	Películas a color	155
4.3.3	Propiedades de las películas fotográficas	166
4.3.3.1	Propiedades sensitométricas	167
4.3.3.2	Propiedades de la estructura de la imagen	170
4.4	FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA IMAGEN FOTOGRAFICA	171
4.5	CLASIFICACION DE LOS PAPELES FOTOGRAFICOS	174
4.6	TIPOS DE FOTOGRAFIAS AEREAS	175
4.7	CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS	178
PARTE II INTERPRETACION GEOLOGICA Y GEOMORFOLOGICA MEDIANTE EL USO DE FOTOGRAFIAS AEREAS E IMAGENES DE SATELITE		
CAPITULO V	**FOTOINTERPRETACION**	
5.1	INTRODUCCION	179
5.2	ETAPAS Y PROCESOS EN LA INTERPRETACION DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS E IMAGENES	180
5.2.1	Fotolectura	181
5.2.2	Fotoanálisis	181
5.2.3	Fotointerpretación	182
5.3	NIVELES DE REFERENCIA	183
5.3.1	Nivel de referencia general	184
5.3.2	Nivel de referencia local	184
5.3.3	Nivel de referencia específico	184
5.4	LA FOTOINTERPRETACION Y SU DIVISION	185
5.5	INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN FOTOINTERPRETACION	185
5.5.1	Estereoscopios	185
5.5.1.1	Tipos de estereoscopios	186
5.5.1.1.a	Estereoscopio de lentes o de bolsillo	186
5.5.1.1.b	Estereoscopio de espejos y prismas	187
5.5.2	Estereomicroscopios	189
5.5.3	Instrumentos utilizados para la transferencia de información	192
CAPITULO VI	**FOTOGEOLOGIA Y CRITERIOS DE OBSERVACION FOTOGEOLOGICA**	
6.1	INTRODUCCION	197
6.2	FOTOGEOLOGIA	198
6.2.1	Relación con otras disciplinas de las Ciencias Geológicas	199
6.2.2	Ventajas de la fotogeología en su aplicación al mapeo geológico regional y en la exploración de yacimientos minerales y de petróleo	200
6.2.3	Limitaciones de la fotogeología	202

6.2.4	Clasificación de la fotogeología	202
6.3	CRITERIOS DE OBSERVACION FOTOGEOLOGICA	203
6.3.1	Tono fotográfico y color	205
6.3.1.1	Características tonales de las rocas	207
6.3.1.2	Anomalía tonal	208
6.3.2	Textura fotográfica	209
6.3.3	Sombra	211
6.3.4	Escala	212
6.3.5	Tamaño	212
6.3.6	Sitio	212
6.3.7	Vegetación	213
CAPITULO VII	**CRITERIOS DE OBSERVACION FOTOGEOLOGICA (II) DISEÑOS**	
7.1	DISEÑO	215
7.2	DISEÑO DE TONO	215
7.2.1	Tipos de diseños de tono	215
7.2.1.1	Diseño de tono oval, elipsoidal, arriñonado	216
7.2.1.2	Diseño de tono bandeado	216
7.2.1.3	Diseño de tono nebuloso	217
7.3.	DISEÑO DE DRENAJE	218
7.3.1	Clasificación del diseño de drenaje	218
7.3.2	Características del drenaje	221
7.3.2.1	Grado de integración	222
7.3.2.2	Grado de uniformidad	222
7.3.2.3	Densidad de drenaje	225
7.3.2.4	Orientación	227
7.3.2.5	Grado de control	227
7.3.2.6	Angularidad	228
7.3.2.7	Angulo de junta	228
7.4.	CLASIFICACION GENETICA DEL DRENAJE	228
7.4.1	Río consecuente	229
7.4.2	Río subsecuente	229
7.4.3	Río resecuente	229
7.4.4	Río obsecuente	231
7.4.5	Río insecuente	231
7.4.6	Río antecedente	231
7.4.7	Río sobreimpuesto	232
7.5	DESCRIPCION DE LOS DISEÑOS DE DRENAJE	232
7.5.1	Diseño de drenaje dendrítico	232
7.5.1.1	Diseño dendritico variedad pectineo	233
7.5.1.2	Diseño dendritico variedad pinado o de pluma	235
7.5.1.3	Diseño dendritico variedad subdendrítico	235
7.5.1.4	Diseño dendrítico variedad tenaza	235
7.5.2	Diseño de drenaje parrilla (Trellis)	235
7.5.3	Diseño de drenaje rectangular	241
7.5.4	Diseño de drenaje anular	243
7.5.5	Diseño de drenaje radial	244
7.5.6	Diseño de drenaje centripetal	246
7.5.7	Diseño de drenaje paralelo	246
7.5.8	Diseño de drenaje anárquico	247
7.5.9	Diseño de drenaje múltiple de cuenca	247
7.5.10	Diseño de drenaje trenzado	248
7.5.11	Diseño de drenaje meandrico	249
7.5.12	Diseño de drenaje dicotómico	250
7.5.13	Diseño de drenaje complejo	250
7.5.14	Diseño de drenaje palimsesta	250
7.6	ANOMALIAS DE DRENAJE	250
7.7	LA CUENCA DE DRENAJE	254

CAPITULO VIII	**CRITERIOS DE OBSERVACION FOTOGEOLOGICA (III) FORMA O CRITERIOS GEOMORFOLOGICOS**	
8.1	FORMA	261
8.2	CLASIFICACION,DESCRIPCION Y CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACION DE LAS GEOFORMAS RESULTANTES DE LA ACCION PREDOMINANTE DE AGENTES Y PROCESOS GEOMORFICOS, SIN LA INFLUENCIA O CONTROL DE LA ESTRUCTURA Y LITOLOGIA	262
8.2.1	Geoformas construccionales de origen fluvial	264
8.2.1.1	Llanuras aluviales	264
8.2.1.1.1	Llanuras aluviales de curso simple	264
8.2.1.1.2	Llanuras aluviales de cursos múltiples	267
8.2.1.2	Abanicos aluviales	267
8.2.1.3	Bajadas	268
8.2.1.4	Deltas	269
8.2.1.4.1	Llanura deltaica	272
8.2.1.4.2	Frente del delta	274
8.2.2	Geoformas destruccionales de origen fluvial	275
8.2.2.1	Terrazas	276
8.2.3	Geoformas debidas a la acción combinada de la gravedad y el agua corriente	280
8.2.3.1	Conos de Talud	280
CAPITULO IX	**GEOFORMAS DEBIDAS A PROCESOS DE GLACIACION**	
9.1	INTRODUCCION	283
9.2	GLACIACION DE MONTAÑA	283
9.2.1	Geoformas debidas a procesos de erosión glaciar	284
9.2.1.1	Circos glaciares	284
9.2.1.2	Aretes o aristas glaciares y agujas glaciares	285
9.2.1.3	Valles glaciares o artesas glaciares	286
9.2.1.4	Valles colgantes	289
9.2.2	Geoformas debidas a procesos de acumulación glaciar	289
9.2.2.1	Morrenas laterales	289
9.2.2.2	Morrenas terminales o frontales	290
9.2.2.3	Morrenas de fondo	290
9.2.3	Geoformas fluvioglaciales	291
9.3	GLACIACION CONTINENTAL	292
9.3.1	Geoformas debidas a procesos de erosión glaciar	292
9.3.1.1	Llanuras glaciarias limadas	292
9.3.2	Geoformas debidas a procesos de acumulación glaciar	293
9.3.2.1	Llanuras de till	293
9.3.2.2	Morrenas terminales	293
9.3.2.3	Drumlins	293
9.3.3	Geoformas de origen fluvioglaciar	294
9.3.3.1	Eskers	295
9.3.3.2	Kames	295
CAPITULO X	**GEOFORMAS DEBIDAS A PROCESOS EOLICOS**	
10.1	INTRODUCCION	297
10.2	GEOFORMAS DEBIDAS A LA ACUMULACION EOLICA	298
10.2.1	Mantos de arena	298
10.2.2	Acumulaciones irregulares de arena	298
10.2.3	Campos de dunas o erg	298
10.2.4	Dunas o médanos	299
10.2.4.1	Dunas transversales	300
10.2.4.2	Dunas longitudinales	300

10.2.4.3	Dunas piramidales o estelares	302
10.2.4.4	Dunas lomos de ballena	302
10.2.4.5	Dunas semilunares o barjanes	302
10.2.4.6	Dunas parabólicas	302
10.2.5	Llanuras de loess	303
CAPITULO XI	**TIPOS DE INFORMACION GEOLOGICA OBTENIDA DE LA FOTOGRAFIA AEREA**	
11.1	INTRODUCCION	305
11.2	Información litológica	306
11.3	Características fotogeológicas de las rocas sedimentaria	307
11.3.1	Características fotogeológicas correspondientes al grupo de las areniscas y conglomerados	309
11.3.2	Características fotogeológicas del grupo de las rocas arcillosas.- Lutitas - Arcilitas - Limolitas - Loess - Margas	315
11.3.3	Características fotogeológicas del grupo de las rocas calcáreas - calizas y dolomitas	320
11.3.4	Características fotogeológicas del grupo de las rocas evaporíticas	326
11.3.5	Depósitos no consolidados	328
CAPITULO XII	**CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS DE LAS ROCAS IGNEAS Y ROCAS METAMORFICAS**	
12.1	CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS DE LAS ROCAS IGNEAS	331
12.1.1	Características fotogeológicas de las rocas ígneas intrusivas	331
12.1.1.1	Cuerpos ígneos intrusivos concordantes y su identificación en las fotografías aéreas	335
	Lacolitos	335
	Filones capas o Mantos (Sill)	335
	Facolitos	335
	Lopolitos	336
12.1.1.2	Cuerpos ígneos intrusivos discordantes y su identificación en las fotografías aéreas	337
	Diques ígneos	337
	Batolitos	339
	Stocks	339
12.1.2	Características fotogeológicas de las rocas ígneas extrusivas	341
	Identificación en la fotografía aérea del grupo de rocas ígneas extrusivas, utilizando como criterio principal las diferentes formas asociadas con el Volcanismo	343
	Tipos de estructuras volcánicas	344
	Características fotogeológicas de las principales estructuras volcánicas menores	349
	Conos piroclásticos	349
	Cono de cinder	349
	Conos de ceniza	349
	Conos de salpicadura	349
	Hornitos	350
	Túmulos	350
	Características fotogeológicas de las principales estructuras volcánicas mayores	350
	Conos de lava	350
	Conos compuestos	351
	Estrato volcán	351
	Domos volcánicos	352
	Mesetas y llanuras de lava	354
	Depresiones volcánicas	357
	Cráteres	357

	Calderas	357
	Depresiones tectónico - volcánicas	358
	Tapones y cuellos volcánicos	358
12.2	CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS DE LAS ROCAS METAMORFICAS	359
	Rocas Gneisicas	360
	Esquistos	361
	Pizarras	361
	Cuarcitas	362
CAPITULO XIII	**INFORMACION OBTENIDA MEDIANTE LA INTERPRETACION ESTRUCTURAL EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS**	
13.1	INTRODUCCION	363
13.2	IDENTIFICACION DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LOS ESTRATOS EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS	363
13.2.1	Simbología fotogeológica	370
13.3	IDENTIFICACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS GEOLOGICAS EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS	372
13.3.1	Pliegues	372
13.3.1.1	Elementos estructurales de los pliegues	373
13.3.1.2	Configuración de pliegues	378
13.3.1.3	Dimensiones de un pliegue	379
13.3.1.4	Simetria de los pliegues	382
13.3.1.5	Clasificación de pliegues	383
13.3.2	Estructuras homoclinales	385
13.3.3	Interferencia de estructuras	385
13.3.4	Ajuste de las geoformas al control ejercido por las estructuras plegadas	385
13.3.5	Simbología fotogeológica	388
13.3.6	Identificación de fallas en las fotografías aéreas	389
13.3.7	Diaclasamiento	400
13.3.8	Lineamientos	401
13.3.9	Diapiros	404
13.3.10	Discordancias	405
CAPITULO XIV	**METODOS Y PROCEDIMIENTOS EN EL MAPEO FOTOGEOLOGICO**	
14.1	PROCEDIMIENTOS	411
Anexo 3	Leyenda geomorfológica	417
Indice bibliográfico		421
Indice alfabético		427

TOMO II

INDICE GENERAL v

PARTE III EJERCICIOS PRACTICOS

PRACTICA N° 1 437
Manejo del estereoscopio de bolsillo

PRACTICA N° 2 442
Examen y ejercicio para la visión estereoscópica

PRACTICA N° 3 445
Orientación de un par de fotografías aéreas en un estereoscopio de espejos

PRACTICA N° 4 448
Determinación de la escala de la foto

PRACTICA N° 5 451
Construcción de estereogramas

PRACTICA N° 6 453
Construcción de estereotriplets

PRACTICA N° 7 455
Guías para el análisis geomórfico y geológico mediante la interpretación de fotografías aéreas

PARTE IV DESCRIPCION DE LOS MODELOS ESTEREOSCOPICOS

Introducción 461
Descripción de los modelos estereoscópicos 463
Anexo modelos estereoscópicos 803
Anexo No. 1 803
Anexo No. 2 806
Anexo No. 3 809
Anexo No. 4 812
Anexo No. 5 814
Anexo No. 6 821
Anexo No. 7 825
Anexo No. 8 829

PARTE I

ELEMENTOS DE PERCEPCION REMOTA

CONCEPTOS GENERALES

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCION

La interpretación de fotografías aéreas, desde la década de los años 60, ha jugado un rol importante en el conocimiento de los recursos naturales de los países de Latinoamérica y con mayor énfasis en el campo de la Geología.

Aunque el objetivo principal de este texto, es dar al estudiante universitario que estudia Geología, los principios básicos y elementales para el aprendizaje del uso de la fotografía aérea y el de imágenes de satélite, aplicado a estudios geológicos y geomorfológicos, es probable que también pueda ser de utilidad, para los profesionales geólogos así como para los especialistas en Suelos, Forestal, Ecología, Geografía y en otras ramas, que tengan poca experiencia en el manejo de fotografías aéreas e imágenes de satélite.

1.2 PERCEPCION REMOTA. TELEDETECCION - FOTOINTERPRETACION Y FOTOGEOLOGIA

El uso contínuo e indiscriminado de estos términos, ha dado lugar a que ellos puedan ser confundidos o mal comprendidos en el verdadero sentido de su concepto. Es necesario definir cada uno de ellos, para establecer sus diferencias o similitudes.

Para ello es conveniente presentar una breve relación de los principales hechos históricos, que han dado lugar a tan rápida evolución de esta Técnica - Ciencia, y visualizar como fueron manejados dichos términos y conceptos.

1.2.1 **Antecedentes Históricos.-** El hombre desde la antiguedad, ha sido por excelencia un explorador, que siempre ha tratado de buscar regiones más adecuadas para su supervivencia y defensa de los suyos. Fue descubriendo, nuevas tierras, nuevos continentes y hoy por las mismas necesidades ha empezado a explorar el Universo, habiendo llegado a asentar su pie en la Luna. Ha enviado una serie de satélites al espacio cósmico, con el propósito de obtener información de nuestro planeta,

con diferentes fines, tales como salud, educación, investigación científica, comunicaciones, recursos naturales, manejo y control del ambiente y en especial para fines militares.

En los siglos pasados, los primeros medios utilizados para realizar la exploración, fueron los Mapas Mundi y las cartas náuticas. A fines del siglo XIX, se empieza a confeccionar cartas topográficas con la ayuda de una nueva y fascinante técnica, la del registro de imágenes desde el aire, mediante el sistema fotográfico.

El sistema fotográfico, de un modo general se basa en la impresión de placas sensibilizadas a compuestos de plata, que reaccionan con la luz al ser expuestas, reproduciendo de esta manera imágenes fotográficas. Esta técnica inicialmente fue desarrollada en 1839 por los franceses Louis Jacque Mande Daguerre y Joseph Nicephose Niepce. Al resultado de este proceso de registro de imagen, le dieron el nombre de DAGUERROTIPO, en honor a uno de sus inventores.

Posteriormente, el inglés William H Fox-Talbot, introduce el proceso negativo - positivo, que continúa actualmente en uso y cuyo resultado, se llama FOTOGRAFIA que reemplaza al término Daguerrotipo.

En Francia, por el año 1859, Gaspar Felix Tournachon más conocido como Nadar, tomó la primera fotografía aérea, desde un globo aerostático a una altura aproximada de 80 metros utilizando una cámara fotográfica de fuelle. El propósito de este hecho, fue el de demostrar la posibilidad de confeccionar un mapa topográfico de los alrededores de Paris, mediante el uso de fotografías aéreas. Por el mismo año, el francés Aimme Laussedat luego de haber experimentado por varios años, da a conocer el primer método para la preparación de mapas topográficos, mediante el uso de fotografías aéreas. Por este trabajo, es reconocido como el padre de la Fotogrametría.

En Estados Unidos de Norte América, en 1860, James W. Black y Samuel A King, toman la primera fotografía aérea, de la ciudad de Boston desde un globo cautivo a una altura aproximada de 400 mts.

En 1862, en el mismo país, se toman las primeras fotografías aéreas con propósitos exclusivos de tipo militar. El ejército de la Unión, durante la guerra civil, tomó varias fotografías aéreas, desde globos que volaban a 420 metros de altura aproximada, con el objeto de obtener información relacionada con las posiciones que tenia el ejército de la Confederación.

Hechos similares a los descritos, ocurrieron en varios paises de Europa, especialmente en Inglaterra, Alemania, Francia, Rusia, Italia, etc. Como ejemplo se puede citar el de Rusia, que en 1886, toma la primera fotografía aérea, desde un globo dirigible. Como consecuencia de ello, el ejército ruso, considera la importancia que la fotografía aérea puede tener en aplicaciones de tipo militar. Posteriormente entre 1886 y 1889 realizan más experimentos de este tipo, como el de Thiele, Consejero del gobierno ruso, que instaló cámaras fotográficas en 7 cometas, obteniendo como resultado 7 fotografías continuas que las denomina PANORAMOGRAFO.

A comienzos del siglo XX, en 1903 se inventa el aeroplano. El 24 de abril de 1909, Wilbur Wright, toma la primer fotografía aérea desde un avión, utilizando todavía una cámara fotográfica normal. Esta fotografía aérea fue tomada en Italia, en la localidad de Centocelli.

Entre los años de 1909 y 1910, Alemania se interesa en la aplicación de la fotografía aérea, y por ello empieza a entrenar a sus estudiantes de aviación en el uso de cámaras fotográficas instaladas en avión.

Durante la Primera Guerra Mundial, los estrategas militares empiezan a considerar el valor potencial que las fotografías aéreas pueden tener, para obtener información con fines militares, por lo que se convierte en herramienta operacional de primer orden para el reconocimiento militar. Paralelamente, se va formando el personal que utilice la fotografía, como un medio para obtener información de tipo militar.

Con este hecho, se inicia la era de la "FOTOINTERPRETACION", aunque rudimentaria en su principio, va mejorando en sus técnicas durante el período de la Primera Guerra Mundial. Empieza a desarrollarse métodos y técnicas para mejorar el proceso de la toma fotográfica, especialmente tratando de adaptar y mejorar las cámaras terrestres, mejorar la calidad de las películas fotográficas, etc.

A fines de 1915, el Tte Cnl. J. T. Moore Brabazon, jefe de la Sección de Fotografía de la Real Fuerza Aérea de Gran Bretaña, diseña la primera cámara fotogramétrica.

Las tácticas de la guerra utilizadas hasta ese momento, deben ser modificadas, porque la Fotografía Aérea, registra todo lo que se halla a vista de la cámara. A consecuencia de ello se crea la técnica del CAMOUFLAGE, que consiste en ocultar al enemigo, lo máximo de la información militar existente. Para ello se diseñaron, formas para engañar al fotointérprete u ocultarlas de su registro en las fotografías aéreas. En algunos casos utilizaban señales falsas, como aparentes vías de ferrocarriles, depósitos de municiones vacíos, vegetación removida que cubre equipo pesado de artillería, etc.

Uno de los ejemplos, donde la fotointerpretación, tuvo un rol importante, por el carácter de la información que fue de gran utilidad al ejército aliado, fue aquella relacionada con los vuelos que realizaron sobre las líneas defensivas del ejército alemán, en el sector donde el ejército americano se desplazaba. Con la interpretación de las fotografías aéreas tomadas, pudieron identificar el 90 % de las instalaciones militares que el ejército alemán tenia en dicha zona. Este porcentaje así identificado, fue comprobado luego de firmado el armisticio.

Terminada la Primera Guerra Mundial, se dan los primeros pasos, para introducir las técnicas de fotointerpretación, utilizadas en fines militares, para su aplicación en actividades civiles. De esa manera, en E.E.U.U., se crea la Sociedad Americana de Fotogrametría, que publican las primeras revistas técnicas sobre Fotointerpretación y Fotogrametría. (1934). En este período, empiezan a constituirse las primeras compañías, que realizan trabajos de consultoria, utilizando fotografías aéreas, para su aplicación en : a) la preparación de mapas topográficos b) realizar estudios forestales aplicado a la explotación de maderas c) realizar la exploración de yacimientos minerales y de petróleo y la confección de mapas geológicos, etc.

En Alemania se publica la revista técnica, Luftbild und Luftbildmessung. Karl Troll, investigador y profesor de la Universidad de Bonn, muy conocido por sus investigaciones realizadas en América del Sur, en especial Bolivia y Perú, publica varios artículos relacionados con fotografías aéreas y su aplicación en las Ciencias de la Tierra. Es el impulsor para que en Berlín, en el Gesellschaft fur Erdkunde (Sociedad Geográfica) se cree un Centro de Investigación en Fotointerpretación (Wissenshaftliche Luftbildstelle).

Durante la Segunda Guerra Mundial (1939 - 1945) la fotointerpretación militar alcanza su máximo desarrollo. En ella se usa por primera vez, las películas a color, (desarrollada en 1930), infrarrojo blanco y negro, color infrarrojo, estas dos últimas, diseñadas exclusivamente para la detección de Camouflage.

La FOTOINTERPRETACION, llega a jugar uno de los papeles más importantes durante la II Guerra Mundial. Tanto los aliados como Alemania utilizaron esta técnica durante la indicada contienda bélica. Como referencia se citan algunos hechos :

a) Alemania, fue el país que al empezar la II Guerra Mundial, empleó con mayor intensidad esta nueva técnica.

- En 1940, para planificar la ofensiva que culminaría con la Batalla de Francia, el ejército alemán, fotografió durante 9 meses, desde Septiembre de 1939, todo el frente occidental, que cubría la zona comprendida entre Noruega y Francia, obteniendo información completa sobre todas las características militares de esa zona. (Número de campos de aterrizaje, número de aviones en cada campo, ubicación de ferrocarriles, carreteras, puentes, zonas de aprovisionamiento, etc.)

- El servicio de información e interpretación fotográfica, declina en sus actividades, debido a la muerte del Jefe del Estado Mayor Alemán, Grl. Werner von Fritsch, quien consideraba que la guerra sería ganada, por el país que mayor reconocimiento aéreo tenga.

b) Conforme progresaba la guerra, los paises aliados, empezaron a mejorar su servicio de Fotointerpretación Militar, debido en especial, al éxito que los ingleses estaban logrando al apoyarse en la información obtenida por este medio. Es en este país donde empiezan a ser entrenados, oficiales de la marina de E.E.U.U. de Norte América, en técnicas de Fotointerpretación Militar.

- Por la información obtenida a través del Servicio de Fotointerpretación ingles, pudieron detener la invasión, que Alemania preparó en 1940, desde Los Paises Bajos a Inglaterra.

- Se evitó, con una anticipación de 12 meses, que los cohetes V1, ubicados en Peenemunde, sean utilizados. Además, ubicaron aproximadamente 96 rampas de lanzamiento de cohetes V1, distribuidas a lo largo de la costa francesa. Todas ellas, fueron destruidas.

- Gran porcentaje de las rampas de lanzamiento de cohetes, que fueron construidas por los alemanes, durante la noche o en condiciones malas de tiempo y que se hallaban bien camufladas, pudieron ser detectadas, deteniendo nuevamente la invasión a Inglaterra. (1943 - 1944).

c) Una de las aplicaciones más efectivas de la fotointerpretación realizada por los americanos, estuvo relacionada con la preparación y planeamiento de las invasiones a la isla de Sicilia, al territorio continental de Italia y Normandía.

- En el caso de Sicilia, realizaron 500 vuelos de reconocimiento, que fueron utilizados para preparar todos los mapas topográficos, mapas de uso militar, acompañados de informes detallados, sobre los puertos más fortificados del área.

- Para la invasión de Italia, en tres meses, volaron aproximadamente 1100 misiones de reconocimiento aéreo. El detalle de información obtenida fue mayor al realizado en Sicilia. Cada puerto ubicado en el Mediterráneo, era fotografiado, por lo menos una vez a la semana, los puertos de mayor movimiento, diariamente y aquellos donde se

hallaba la flota italiana, dos veces al día.

- Algo similar ocurrió cuando se preparó, la invasión a Normandía. Los datos obtenidos proporcionaban información detallada, sobre las características del terreno, forma de las playas, profundidad y elevaciones de los puntos de desembarco del equipo pesado de transporte militar, infantería, etc. Proporcionaba información sobre la ubicación de las instalaciones enemigas, líneas de comunicación, etc.

d) Rusia, utilizó la fotografía aérea, para fines de Interpretación militar, durante la guerra que sostuvo con Finlandia entre 1939 y 1940, experimentando varias técnicas, como la toma de fotografías nocturnas con un éxito relativo.

- En la Segunda Guerra Mundial, Rusia recién pudo organizar su Servicio de Interpretación, al iniciar la ofensiva contra el ejército alemán en el año 1941. Las batallas de Stalingrado y Leningrado, fueron planeadas, utilizando reconocimiento aéreo.

Como se puede deducir, todo el trabajo realizado hasta ese momento, fue con la ayuda de la interpretación de fotografías aéreas, que para su registro utilizan radiaciones que corresponden a la luz solar, que técnicamente se denomina Espectro Visible, por ser la única radiación que puede ser percibida por el hombre a través de la vista. A este tipo de registro se pueden añadir, las fotografías aéreas infrarrojo color e infrarrojo blanco y negro, que también son obtenidas con procesos fotográficos normales. (Luz diurna, cámara fotográfica, película y revelado) aunque las radiaciones del infrarrojo no sean percibidas por el ojo humano.

Se utilizará el término Sistema Fotográfico para referirse a todo lo relacionado con procesos fotográficos.

Sin embargo, ese no es el único avance logrado durante la Segunda Guerra Mundial, ya que en el transcurso de ella, se fue experimentando con otros sistemas que puedan detectar otras radiaciones que no correspondan al espectro visible, y puedan ser convertidas en imágenes, de manera que tengan las mismas o mejores condiciones que las del Sistema Fotográfico. Entre ellos se pueden citar al Sistema de Microondas Activas (Radar), el Sistema Infrarrojo Termal y el Sistema Multiespectral.

Luego de terminada la Segunda Guerra Mundial, los profesionales, que recibieron entrenamiento en las técnicas de fotointerpretación militar, retornaron a sus actividades profesionales y empezaron a investigar las aplicaciones que en sus específicas profesiones podría tener la interpretación de fotografías aéreas. Así geólogos, edafólogos, forestales, ingenieros civiles, arqueólogos, etc, van encontrando importantes aplicaciones y de ese modo la fotointerpretación, va dividiendose en especialidades, de acuerdo al tipo de estudio que se realice en la fotografía aérea. Entre ellas se puede nombrar a: la FOTOGEOLOGIA, la Fotointerpretación de Suelos, la Fotointerpretación militar, la Fotoarqueología, la Fotointerpretación Aplicada a la Ingeniería, etc.

Entre los años 1950 y 1988, se produce un avance acelerado en la investigación y desarrollo de sistemas de registros formadores y no formadores de imágenes, utilizando diferentes regiones del espectro electromagnético.

Muchos de los resultados que se obtuvieron en este período de tiempo, se iniciaron durante la Segunda Guerra Mundial por los diferentes paises que participaron en ella.

La investigación y desarrollo del Radar, fue iniciada en Alemania. Posteriormente Inglaterra, perfeccionó este sistema, diseñando el primer Radar de Registro de Imágenes, que fue denominado Radar Indicador de Posición Planar, (Plan Position Indicator - PPI), que fue utilizado como defensa contra los bombardeos nocturnos que Alemania realizaba sobre Inglaterra.

Estas investigaciones sirvieron de base, para que en la década de los años 50, se realicen mayores investigaciones, para desarrollar los sistemas de Radar con registro de imágenes tales como el Radar Aéreo de Vista Lateral (Side Looking Airborne Radar SLAR) y el Radar de Apertura Sintética, que fueron puestas al servicio de los usuarios en los años 60. Otros sistemas desarrollados posteriormente fueron el Sistema de Radar Registrador de Perfiles (Airborne Profile Recorded - APR), el Radar altímetro y el Laser altímetro que permiten obtener las características topográficas del relieve.

Algo similar ocurrió con las radiaciones del infrarrojo termal, que durante la Segunda Guerra Mundial no fueron utilizados, pero sirvieron de base para el desarrollo de modelos termales, de diseño de detectores de infrarrojo, que permitieron la construcción de los modernos sistemas de Barredores Optico Mecánicos.

El gobierno de Holanda en el año 1951, con el objeto de contribuir en el entrenamiento técnico a nivel internacional, en el uso y la aplicación de la fotografía aérea en levantamientos geológicos y en agricultura, dispone la creación del Centro Internacional para el Entrenamiento de Fotografías Aéreas, ahora denominado The International Institute For Aereospace Survey and Earth Sciences, más conocido por ITC . Este instituto es el centro de enseñanza más importante del mundo en la aplicación de la fotografía aérea a estudios relacionados con recursos naturales, como también en el campo de la Fotogrametría.

En el año 1956, Robert N. Colwell, en E.E.U.U., realiza experimentos con fotografías aéreas a infrarrojo color, aplicada a estudios de la vegetación, clasificación de tipos de vegetación, detección de vegetación dañada o atacada por algún virus.

En la misma década de los años 50, se inicia la preparación y publicación de una serie de textos sobre Fotointerpretación, que establecen la importancia de esta nueva disciplina en la investigación de los recursos naturales de una determinada región. Se realizan los primeros simposios y congresos sobre Fotointerpretación. La Sociedad Americana de Fotogrametría, organiza la Comisión de Fotointerpretación y comienza la preparación del Primer Manual de Fotointerpretación, que se publica a comienzos del año 1960. Este manual, ha sido uno de los textos más utilizados y consultados por todos los profesionales interesados en esta nueva disciplina.

El presente capítulo, ha utilizado alguna información del indicado manual, para poder resumir y definir los conceptos que se pretende establecer en este texto.

La década de los años 60, se realizan los primeros experimentos con muchos de los nuevos sistemas investigados en la década de los 50. Así, el sistema radar aéreo de vista lateral, el sistema infrarrojo termal son experimentados y utilizados en la guerra de Viet Nam.

Aparecen los primeros aviones de reconocimiento aéreo de gran altitud, también conocidos como aviones espias, en los que instalan una serie de sistemas de registro de información, como cámaras fotográficas, barredores de infrarrojo termal, reflectivo, radiómetros, espectrómetros, radar aéreo de vista lateral y otros.

Se puede citar al avión Loockheed SR71 - Blue Bird, utilizado en la Guerra de Viet Nam,

que para reducir el riesgo del fuego antiaéreo, de misiles tierra - aire, puede operar a alturas de 30000 metros, con velocidades de Mach 3. Debido al sistema avanzado del radar aéreo de vista lateral, puede obtener información del territorio enemigo, sin tener que sobrevolar el mismo, ya que las características de ese sistema, permiten el registro lateral de hasta 160 Km de distancia del objetivo, por lo que el avión solo requiere volar en forma paralela al objetivo deseado.

Con la ayuda de algunos de los sistemas de registro anteriormente indicados y montados en el avión U2, E.E.U.U. en el año 1962, detectó y demostró la instalación de rampas de lanzamiento de misiles en Cuba.

Otro hecho significativo ocurrido en la década de los años 60, es aquel relacionado con el interés de la National Aeronautics Space Administration (NASA) de auspiciar un gran número de investigaciones relacionadas con la aplicación de la fotografía infrarrojo color y en especial experimentar con Sistemas Multiespectrales, que utilicen las diferentes posibilidades de combinaciones de filtros y bandas del espectro electromagnético, tipos de fotografías aéreas (color, infrarrojo color, blanco y negro, infrarrojo blanco y negro), combinaciones entre bandas del espectro visible e invisible (Termal, radar).

Todos estos estudios fueron realizados con el objeto de encontrar aquel sistema multiespectral más adecuado para ser instalado en el Primer Satélite Tecnológico de Recursos Terrestres, a ser lanzado en la década de los 70.

Tal vez el hecho más importante de la década de los 60, es que en este período, convergen varios aspectos sobresalientes que van delineando un nuevo concepto de lo que será a partir de entonces, este conjunto de técnicas nuevas de registro de imágenes que suministran información, sin entrar en contacto directo con el objeto observado.

El término FOTOGRAFIA AEREA y el concepto FOTOINTERPRETACION ya no cubre los avances realizados hasta ese momento, porque en el sentido original, la Fotointerpretación solo utiliza fotografías aéreas, que son el resultado del registro gráfico directo de una imagen captada mediante el sistema fotográfico: Cámara fotogramétrica, película, en un proceso directo entre el objeto y la cámara.

Por el contrario, existen otros sistemas de registro de imagen que no son fotográficos, y utilizan radiaciones que no corresponden al espectro visible, tales como los sistemas radar e infrarrojo termal, que no producen fotografías, sino lo que se ha convenido en llamar IMAGEN que es un producto indirecto de registro gráfico de imagen, producida por señales eléctricas y cuya apariencia es similar a la de una fotografía aérea.

Esto significa, que ambos productos, **Fotografía e Imagen**, tienen la misma apariencia y pueden ser utilizados para realizar cualquier tipo de trabajos de interpretación, aunque no sería correcto utilizar el término fotointerpretación, cuando se interpreta imágenes de radar y/o infrarrojo termal.

Todas estas características, la existencia de diferentes tipos de sistemas de registro de imágenes, el uso de varias regiones del espectro electromagnético, la manera por la que estos sistemas detectan y colectan la información, sin que se requiera que ellos entren en contacto directo con el objeto investigado, hacen que un grupo de investigadores del Laboratorio de Física del Infrarrojo de los Laboratorios Willow Run, unidad de investigación del Instituto de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Michigan (E.E.U.U.), consideren que el concepto y el término fotointerpretación, ha sufrido un cambio profundo y postulan un nuevo concepto y nombre para esta

nueva disciplina, que aunque se trate de un campo de comportamiento científico aún no bien identificado, es denominado PERCEPCION REMOTA del Ambiente.

Esta propuesta fue presentada en el Primer Simposio sobre Percepción Remota, organizado por el Willow Run, realizado en la Universidad de Michigan, Ann Arbor (E.E.U.U.) en febrero de 1962. De esa manera queda oficialmente establecida, una nueva disciplina, mucho más amplia y compleja que la inicial y a la cual se la denomina PERCEPCION REMOTA.

Por último la década de los 60, es la década de los primeros vuelos sistemáticos espaciales orbitales, que suministran las primeras fotografías orbitales espaciales de nuestro planeta. Sin embargo es importante mencionar, que los precursores de estos vuelos y fotografías espaciales, se remonta al año 1891 que es la primera referencia, que se conoce sobre la toma de una fotografía desde un cohete, realizada por el alemán Ludwig Rahramann. En 1907, otro alemán Alfred Maul, patenta el primer diseño de un cohete, para transportar una cámara pequeña, con un dispositivo especial, que es el precursor del giroscopio, de ese modo establece el concepto de Giroestabilización, para los sistemas de cámaras instaladas en cohetes. Posteriormente entre 1946 y 1945, en Nueva Méjico (E.E.U.U.) se toman fotografías, utilizando cohetes V2. a alturas de vuelo que varian entre los 160 y 320 Km.

El año 1957, con el lanzamiento del satélite ruso, Sputnik, se inicia la era de los satélites.

El 6 de agosto de 1959, el satélite Explorer de E.E.U.U. transmite la primera foto espacial.

En el año 1960, empieza en E.E.U.U., la verdadera observación orbital sistemática de nuestro planeta. El primer satélite que realiza esta función es el TIROS I, (TV Infrared Observation Satellite) que es un satélite utilizado para Meteorología.

En 1961, se toma la primera fotografía espacial orbital a color, con la nave espacial Mercurio-Atlas MA-4. Posteriormente con el mismo Programa Mercurio, en el año 1962 se continúan tomando fotografías orbitales de la Tierra. La Misión 9, de este programa de vuelos, realiza tomas de fotografías con el objeto de evaluarlas para su aplicación en la investigación de los recursos naturales y en especial en Geología.

En los años 1965 y 1966, las misiones de vuelo del Geminis, algunas de ellas tripuladas, realizan experimentos con la toma de este tipo de fotografía orbital.La mayoría de las fotografías tomadas en esta misiones, fueron a alturas que variaban entre los 640 y 1360 Km. con escalas de 1:2250000. El año 1967 con el vuelo Geminis 4, tripulado, se realiza el primer experimento formal para Geología, con fotografías de E.E.U.U., México, Africa y Asia. Los Astronautas utilizaron cámaras de mano de 70 mm, enfocadas a través de las ventanas de la nave.Las fotos fueron tomadas a color, con excepción de una en infrarrojo, con resultados malos. Estas fotos fueron utilizadas por especialistas en Fotointerpretación para realizar estudios aplicados a Geología, Geografía y Oceanografía. (Foto 1.1)

La información así obtenida, da un nuevo método para estudiar y conocer a nuestro planeta. Los estudios ahora pueden ser encarados desde el punto de vista regional, lo que permite sacar conclusiones muy importantes, relacionadas con las características geológicas de la tierra. Con ellas se empieza a considerar aquellos aspectos relacionados con el fracturamiento y fallamiento de la corteza terrestre y la posibilidad de su detección en este tipo de fotografías orbitales, mediante la identificación de estos rasgos lineales, que superan en longitud a los 100 Km, asignándoles el nombre de LINEAMIENTOS, término que en la actualidad es muy utilizado por geólogos, que trabajan con



FOTO 1.1 Foto tomada por el satélite Geminis, de la parte Oeste del territorio de Bolivia. En la foto se observa los lagos Titicaca y Poopó, el salar de Uyuni, situados en el Altiplano Boliviano, que se halla limitado por las Cordilleras Oriental y Occidental. Nevados como el Illampu, Illimani, Huayna Potosí y otros son de fácil identificación.

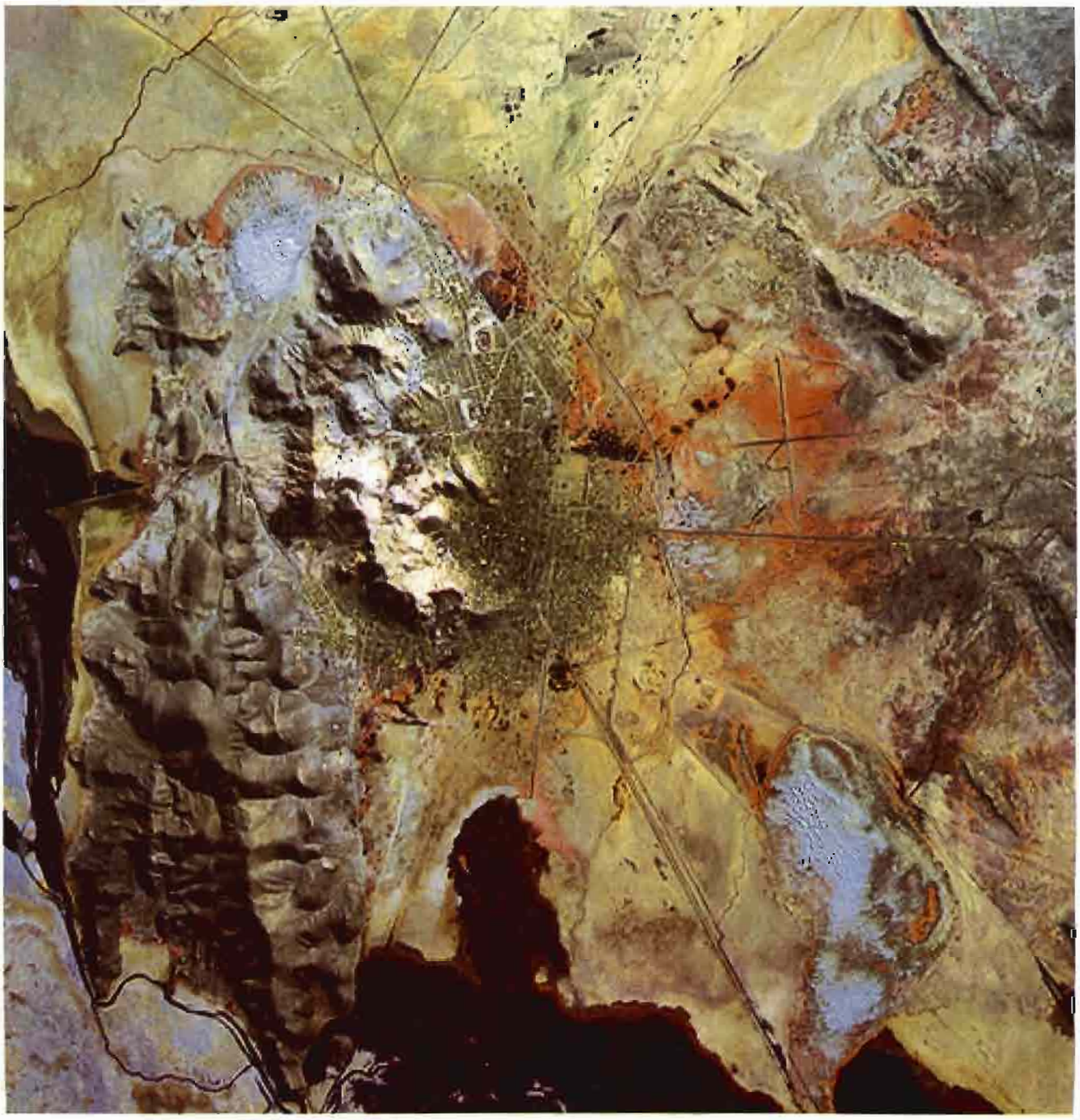


FOTO 1.2 Imagen Landsat.- TM-Mapeador Temático. Combinación de bandas-proporciones (Ratios) 5/7, 5/4, 3/1. Enmascaramiento de agua y vegetación. La imagen muestra la ciudad de Oruro y el yacimiento minero de San José - Itos (Bolivia) (Atención del proyecto BID-USGS-GEOBOL).

imágenes de satélite. Este sistema de tomas, induce a pensar en las ventajas, que ofrecería la información que proviene de un recubrimiento repetitivo sistemático, de un área determinada.

Otro programa que ha producido un gran número de fotografías, es el Programa Apolo, que aunque su objetivo principal era otro, tuvo gran importancia porque contemplaba por primera vez, la toma de Fotografías Multiespectrales. El Apolo 9, utilizó 4 cámaras Hasselblad de 70 mm, instaladas en la ventana del módulo de comando, las cuales se hallaban sincronizadas para disparo simultáneo. Tres de las cuatro cámaras se hallaban cargadas con una película pancromática blanco y negro, y cada una de ellas con filtros de diferentes colores (rojo, verde y azul). La cuarta cámara fotográfica, se hallaba cargada con una película infrarrojo blanco y negro con filtro infrarrojo.

Con estas fotografías, se iniciaron los primeros estudios para evaluar la utilidad de la fotografía multiespectral y su instalación en futuros satélites. Las bandas espectrales o los rangos de longitud de onda utilizados en estas películas correspondían aproximadamente a los mismos que se utilizarían posteriormente en el satélite ERTS -1.

Con el advenimiento de la fotografía espacial orbital, el evento más importante se produce en la década de los 70. El 23 de julio de 1972, la NASA pone en órbita, el primer satélite diseñado exclusivamente para la aplicación en la investigación de los recursos naturales de nuestro planeta. Este satélite es llamado ERTS -1, acrónimo de Earth Resources Technology Satelli(Satélite Tecnológico de Recursos Terrestres). Este programa, posteriormente fue administrado por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (1983)

El programa original ERTS, contemplaba una secuencia planificada de una serie de seis satélites, nominados ERTS - A - B - C - D - E - F, a los cuales luego de su lanzamiento se les asignaría números correlativos que reemplacen a las letras. Así el ERTS - A, luego de su lanzamiento fue denominado ERTS - 1.

Con el lanzamiento del ERTS - 2, (22 de enero de 1975) se realiza el cambio del nombre del programa por el de LANDSAT. Este cambio, es de carácter retroactivo, por lo que el ERTS -1, es renombrado LANDSAT - 1. De esa manera queda establecido el nombre de LANDSAT para los demás satélites de este programa.

El año 1985, el programa se vuelve semioperacional y es transferido a la compañía privada EOSAT para su administración. (Sociedad entre la Hughes Aircraft Company y la RCA Radio Corporation of America). EOSAT se halla encargada de la distribución de datos e imágenes del Landsat, así como de la investigación que debe realizar para hallar nuevas aplicaciones de estos datos. De igual manera es responsable del diseño de nuevas naves espaciales e instrumentos para el programa.

La serie de satélites LANDSAT, puestos en órbita, constituye, la principal fuente de suministro de información para los especialistas del mundo y por ende es el principal parámetro de comparación con otros satélites que han sido desarrollados en otros paises, con los mismos propósitos y también puestos en órbita y/o a poner, tales como los de las de la Agencia Espacial Europea, Rusia, Francia, Brasil, Inglaterra, India, Japón, Canadá, China, etc. (Cuadros 1.1 y 1.2).

Por esta razón, de manera muy resumida, se presenta las características mas importantes del programa LANDSAT:

A) Se ha puesto en órbita a cinco satélites, que por sus características, tipo de sensores o instrumentos, resolución espacial, altura de vuelo y la forma en que ellos han mejorado sus

sistemas de colectar información, procesarla, transmitirla, pueden ser agrupados en dos clases o generaciones.

AI La primer generación, corresponde a los LANDSAT 1 , 2 y 3 que fueron puestos en órbita en la década de los 70, habiendo ya, dejado de funcionar todos ellos. (Cuadro 1.1 y Fig 1.1)

a) Se caracterizan por tener una órbita de vuelo idéntica, (Polar cercana y sincrónica con el sol) de manera que los datos que recoge de un punto dado, se realizan a la misma hora local.

b) Los tres satélites, se hallan programados para recorrer catorce órbitas diarias, en 103 minutos, alrededor de la Tierra, con una separación de 2760 Km. entre órbitas y una inclinación de 9 grados de la órbita con relación a la normal, cuando cruza el Ecuador.

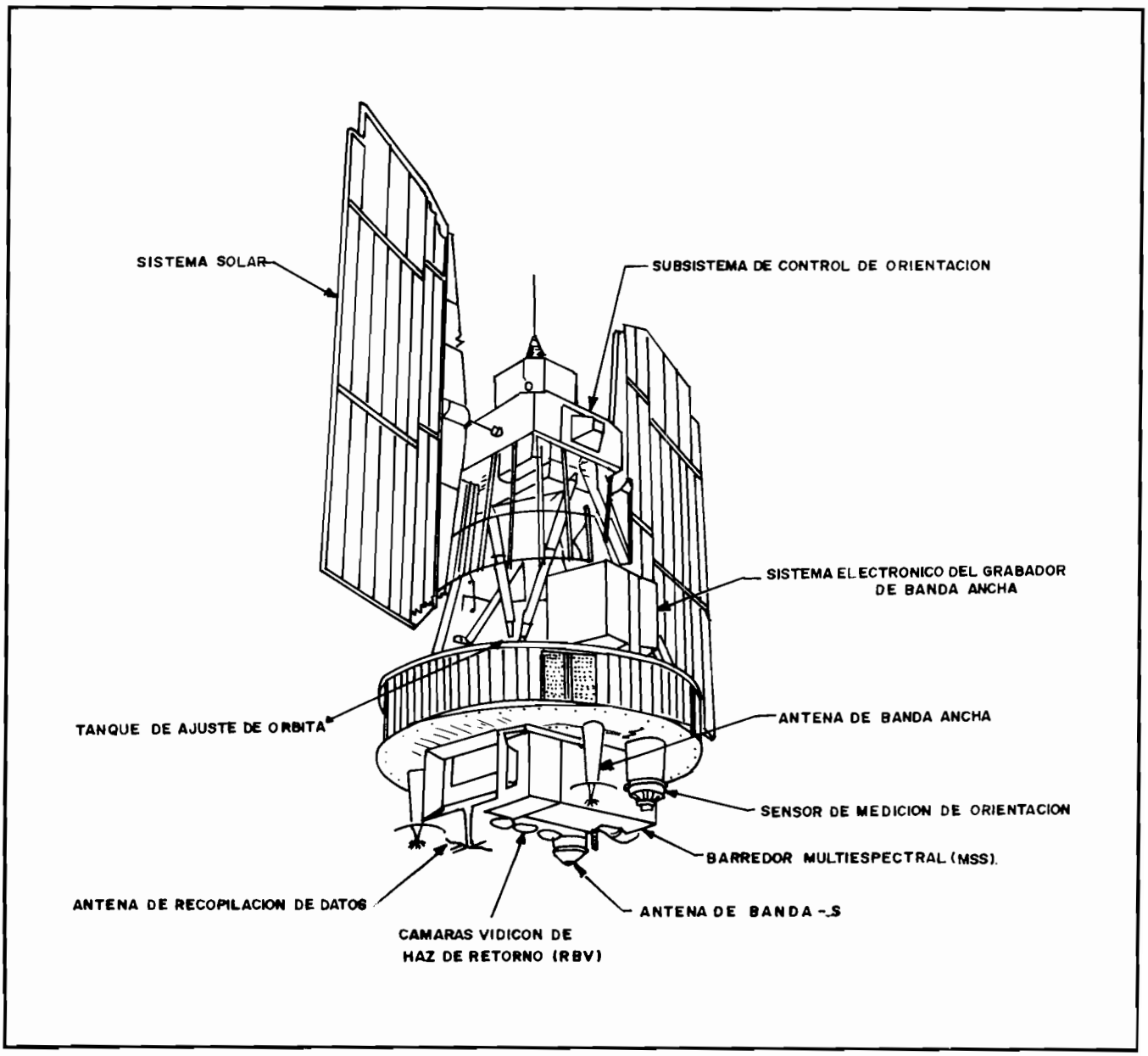


FIGURA 1.1 Plataforma de los SATELITES LANDSAT 1, 2 y 3. (Manual para usuarios de datos ERTS - 1972)

Este ciclo de 14 órbitas, se repite al día siguiente, pero con un desplazamiento de 150 Km. en dirección Norte de la 15 ava órbita o primer órbita de ese día con relación a la órbita del día anterior. (Figs. 1.2 y 1.3). Esto permite conseguir el recubrimiento contínuo con sobreposición entre órbitas de los siguientes días, y por ende de los datos colectados, de manera que la superficie de la Tierra es totalmente cubierta en 18 días. Cada 18 días se repite el mismo proceso, suministrando información que se caracteriza por ser multitemporal y repetitiva, ventaja de este sistema sobre otros sistemas.(Fig. 1.2-1.3)

c) Los tres satélites tienen los mismos tipos de instrumentos para colectar los datos del terreno. Ellos son:

c1 El sistema RBV o Cámaras Vidicon de Haz de Retorno, (Return Beam Vidion), que emplea tres cámaras de Televisión, con diferentes filtros de transmisión, que permiten el registro de datos en tres bandas espectrales distintas. Por razones de operabilidad, las bandas fueron denominadas RBV 1 - RBV 2 y RBV 3. (Fig. 1.4)

c2 El sistema Barredor Multiespectral (MSS) principal sensor del satélite, detecta y registra imágenes en cuatro bandas espectrales, que fueron denominadas: MSS 4 - MSS 5 - MSS 6-MSS 7. (Cuadro 1.3, Fig.1.5 y Fotos 1.3)

d) Ambos sistemas detectan radiaciones, que corresponden al espectro visible y al infrarrojo reflectivo o cercano. En el caso del MSS, tiene dos bandas en el espectro visible, y dos en el infrarrojo reflectivo o cercano (Cuadro 1.3). Por esta razón los dos sistemas del Landsat, operan solo durante el día, porque utilizan la radiación solar y dejan de funcionar en la noche.

En su registro cubren un área de 185 x 185 Km, con una resolución espacial nominal de 80 metros y una altura de vuelo nominal de 900 Km.

e) Este programa, contaba con solo cuatro estaciones receptoras, tres en E.E.U.U. y una en Canadá, por ello, la transmisión directa de datos, solo era posible para esos paises. Para el resto del mundo, el satélite llevaba cintas magnéticas de grabación, en las cuales se grababan los datos colectados, para luego transmitirlas cuando el satélite, pasaba por alguna de las estaciones receptoras de E.E.U.U..

Esta información era archivada en el Centro de Datos EROS ubicado en Sioux Falls. (E.E.U.U.)

f) El sistema RBV, en el LANDSAT - 1 fue desactivado luego de haber realizado, solo 7 días de vuelo, debido a desperfectos del sistema.

g) Solo se producen algunas modificaciones de estos sistemas en los sensores del LANDSAT 3, puesto en órbita el 5 de mayo de 1978. Ellas son:

- En el sistema RBV, se anula una cámara, se mejora la resolución nominal a 40 metros. La característica multiespectral del sistema original, que utiliza filtros con las cámaras es descartado y solo trabajan con el sistema pancromático. Las dos cámaras nuevas pancromáticas, registran la información con bandas de mayor rango de longitud de onda. (Cuadro 1.3). Este sistema operó más de 1000 horas, antes de parar su funcionamiento, por desperfectos del mismo.

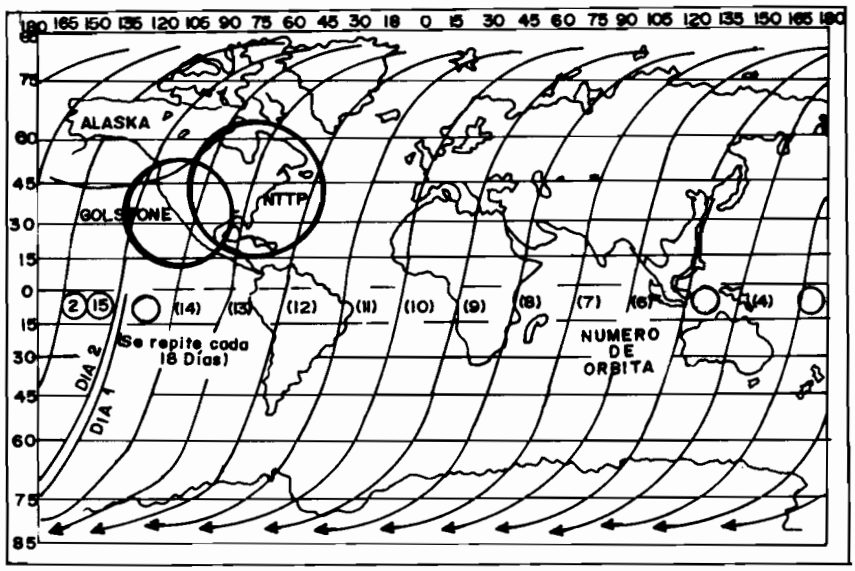


FIGURA 1.2 Modelo de la característica orbital del LANDSAT en su paso diario sobre la Tierra (Manual para usuarios de datos ERTS- 1972)

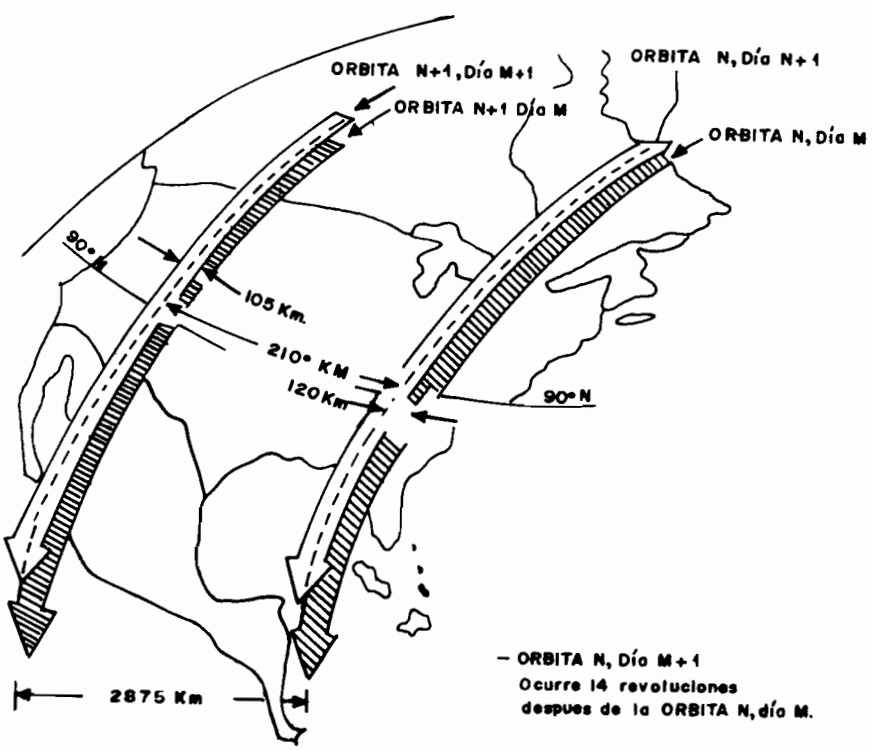


FIGURA 1.3 Modelo del cubrimiento terrestre por el LANDSAT.

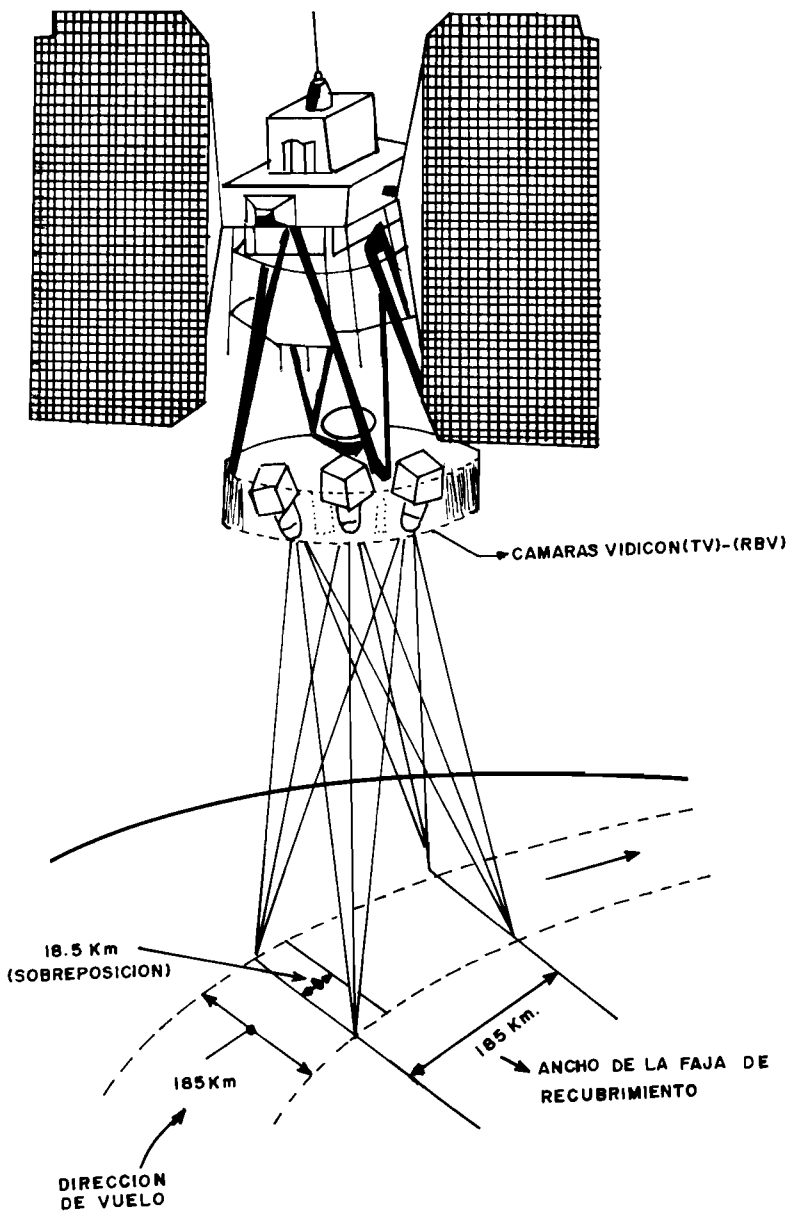


FIGURA 1.4 Cámaras VIDICOM de haz de retorno (RBV) (Report National Academy of Science - Washington D.C. 1977)

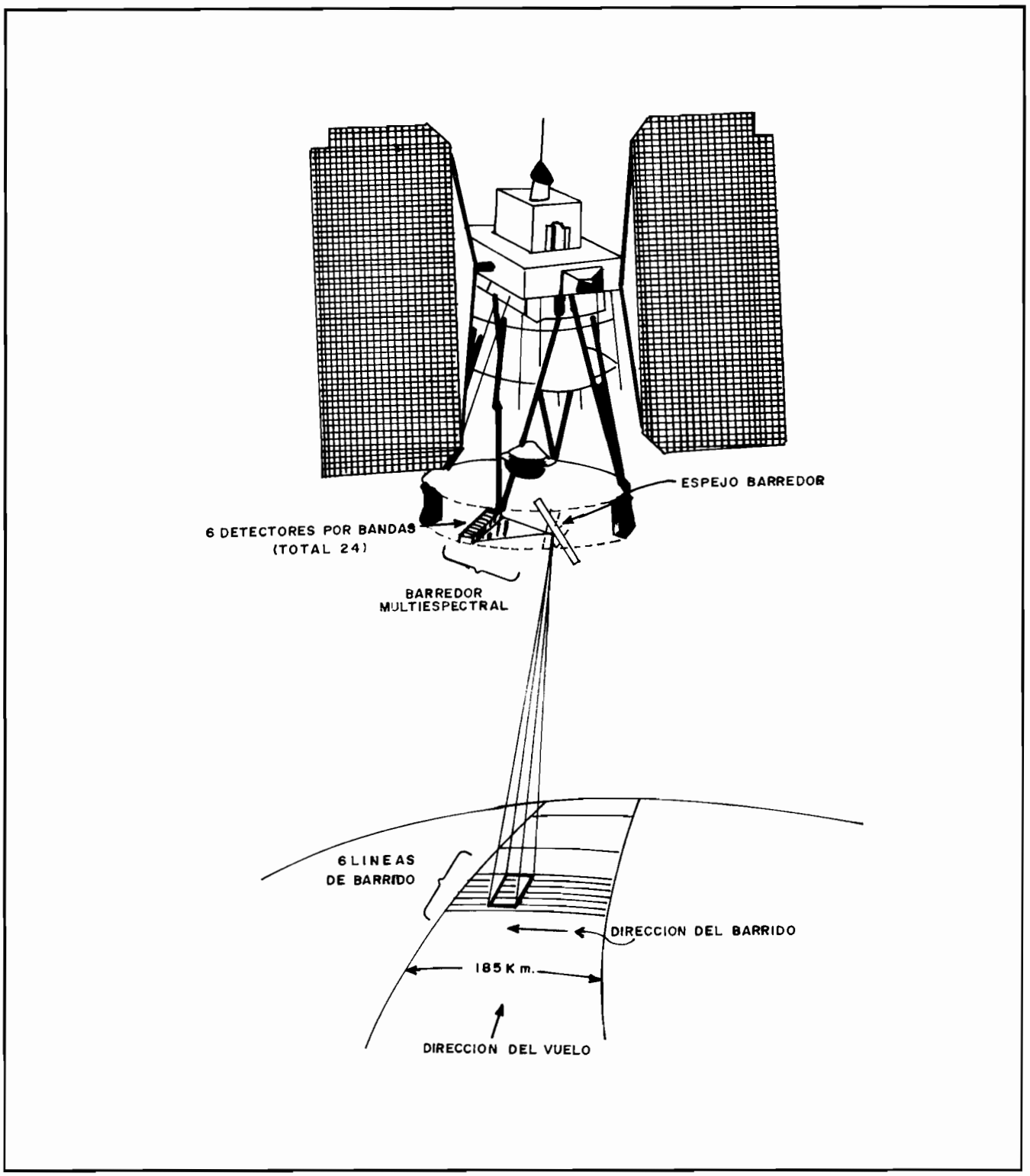


FIGURA 1.5 Barredor Multiespectral (MSS) (Report National Academy of Science - Washington D.C. 1977)

En el sistema MSS o Multiespectral, se añade un canal o banda para el infrarrojo termal, con resolución del terreno de 240 mts. Por problemas de operación, el tiempo que trabajó este canal fue muy corto. Los otros canales siguieron operando con una resolución espacial de 80 mts. (Cuadro 1.3).

AII La segunda generación corresponde a los satélites LANDSAT 4 y 5, que fueron puestos

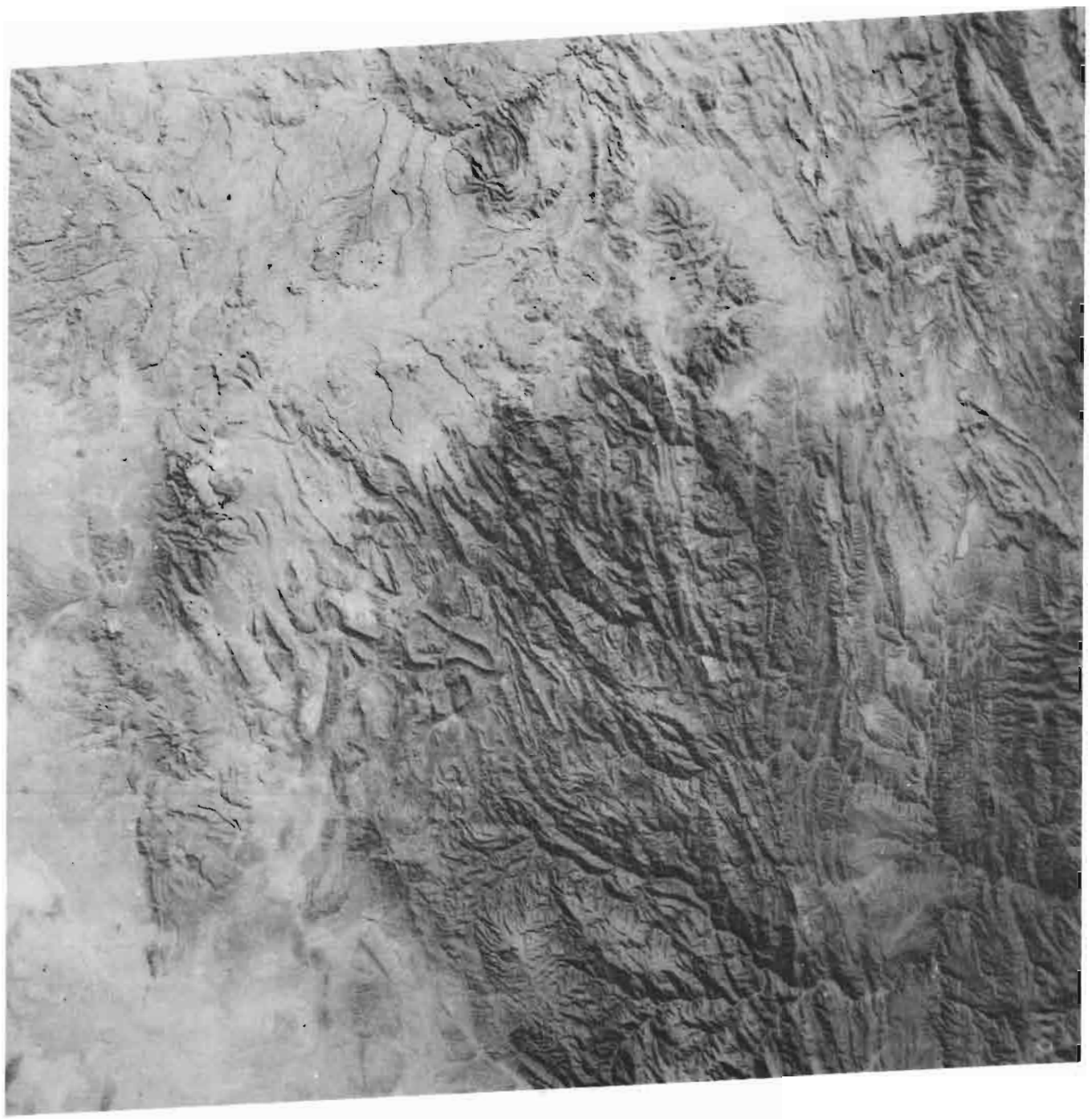


FOTO 1.3 Imagen LANDSAT - Sistema Multiespectral - Banda 7 (Infrarrojo reflectivo o cercano) Escala: 1: 1000000 - Area ubicada entre los paralelos 19° 25' - 20 ° 50' de latitud Sur y 65 ° 10' - 66° 40' de latitud Oeste. (Potosí-Tazna-Pulacayo-San Lucas) Bolivia-Extensión aproximada de 30000 Km. (Ver mapa geológico en Figura 13.23)

en órbita el 16 de julio de 1982 el primero y el 1 de marzo de 1984, el segundo. (Fig. 1.6) Las principales características de estos dos vuelos, que los diferencian de los tres primeros son las siguientes:

a) Las características orbitales de vuelo son diferentes y realizados a alturas orbitales más bajas (700 Km), con el objeto de poder recuperar o reparar algún desperfecto del satélite, mediante el uso de naves transbordadoras espaciales.

b) Por la altura orbital de vuelo más baja, 700 Km, el número de órbitas que recorren por día, se reduce a 14.56 requiriendo de 16 días, para conseguir el recubrimiento total del globo. El ciclo se repite cada 16 días.

La sobreposición entre órbitas es menor que en la anterior generación de estos satélites.

c) Llevan el sistema MSS o Multiespectral, similar a los anteriores satélites, pero la resolución espacial es menor. El tamaño del pixel es de 82 x 82 metros.

La numeración de las bandas es cambiada a MSS 1, MSS 2, MSS 3 y MSS 4. Este cambio en la numeración se debe a que ya no utilizan el sistema RBV, que operaba con esos números en sus bandas. (Cuadro 1.4)

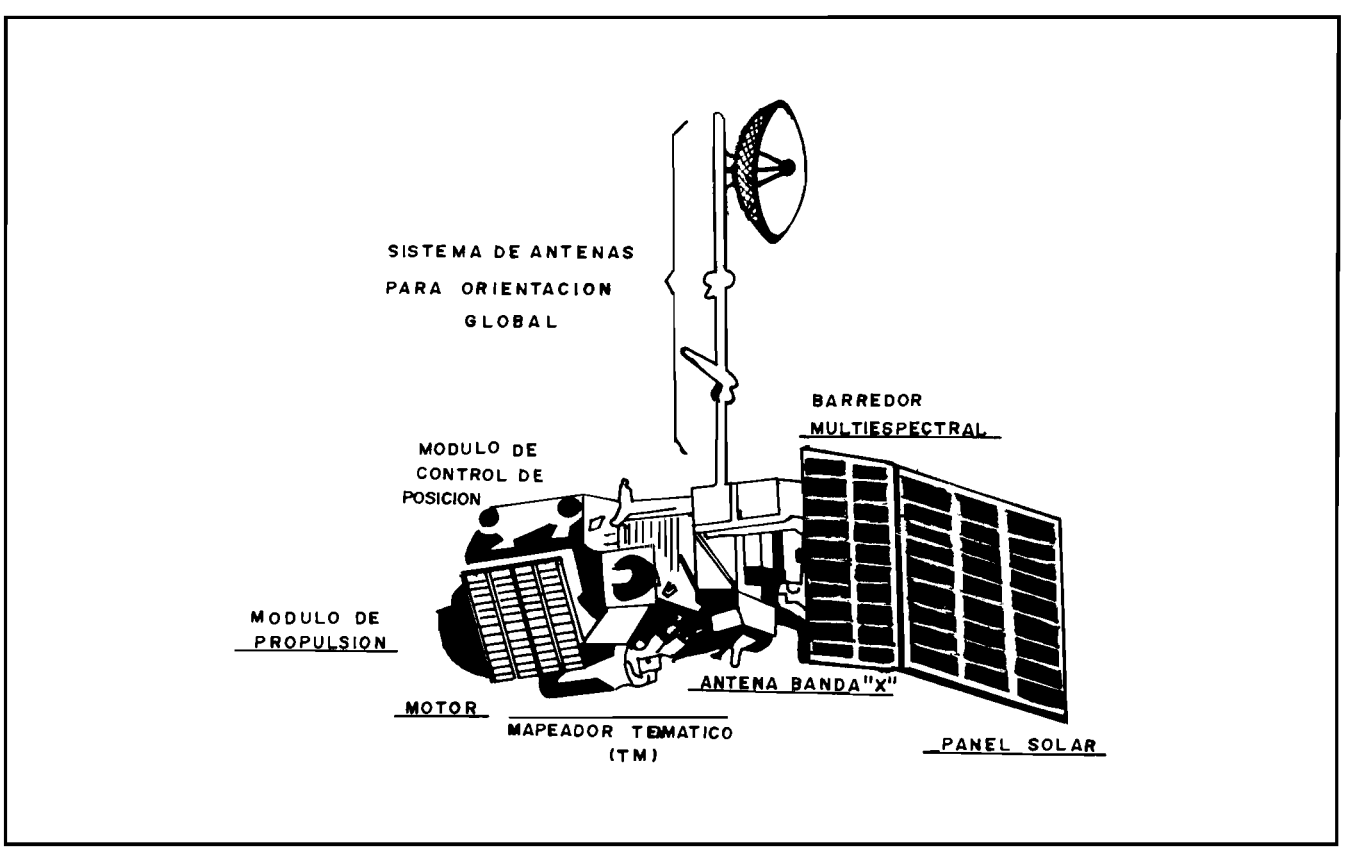


FIGURA 1.6 Plataforma de los Satélites LANDSAT 4Y y 5 (Data users notes N° 23 1982)

d) El sistema RBV, ha sido omitido y en su reemplazo, se introduce un nuevo sensor. Se trata del MAPEADOR TEMATICO TM (Thematic Mapper), cuyo diseño y operación se basa en los mismos principios que el sensor MSS, aunque el diseño es mucho más complejo.

(Fig. 1.7 a y b) Este sensor se caracteriza por tener una mayor sensibilidad radiométrica, una resolución espacial aumentada y una fidelidad geométrica mejorada. La información espectral es más detallada, debido al mayor número de bandas espectrales que utiliza, siete en total. (Cuadro 1.4 y foto 1.2).

Este nuevo sensor, además de utilizar las longitudes de ondas que corresponden al espectro visible y al infrarrojo reflectivo, amplia su detección a longitudes de onda que corresponden al infrarrojo termal. (Cuadro 1.4)

La resolución espacial del sistema es de 30 metros, con excepción de la banda del infrarrojo termal, que tiene una resolución muy baja correspondiente a 120 metros.

e) El problema de la transmisión de datos, que ocurría con la anterior generación de satélites, es solucionada en parte, de la siguiente manera:

Se anulan las cintas magnéticas, y los datos pueden ser transmitidos de dos modos:

- Se transmiten directamente a las estaciones receptoras terrestres ubicadas en diferentes paises.

- Pueden transmitirse a través del nuevo Sistema de Rastreo y Entrega de Datos por Satélite (TDRS - Tracking and Data Relay Satellite System) que es un satélite de alta capacidad de comunicación, alquilado por la Nasa para este propósito. Los datos obtenidos son transmitidos por este satélite, a su estación receptora terrestre, ubicada en White Sands, (E.E.U.U.) de donde se retransmiten, al Centro Espacial de Vuelos de Goddard, para su procesamiento y entrega a los usuarios.En ambos casos la retransmisión se la realiza, vía satélite normal de comunicaciones. DOMSAT - (Domestical Comunication Satellites). (Fig. 1.8)

En la misma década de los años 70, E.E.U.U., colocó también en órbita a otros satélites, con el objeto de realizar investigaciones algo similares a las del programa Landsat, experimentando en este caso, otro tipo de sensores o instrumentos. Entre ellos podemos citar a los siguientes satélites: Skylab, HCMM y Seasat.

SKYLAB El 14 de mayo de 1973, se inicia el vuelo de la primer estación espacial más grande, denominada SKYLAB y comandada por tres tripulaciones, que ocuparon la nave, en forma secuencial desde el 25 de mayo hasta el 16 de noviembre de 1973. Las observaciones se iniciaron con la primera tripulación el 25 de mayo y terminaron el 8 de febrero de 1974. En 1975 quedó fuera de servicio y en 1979 entró en la atmósfera terrestre para desintegrarse sobre Australia.

Cada tripulación se hallaba integrada por tres astronautas que utilizaban vehículos Apolo, para abordar y retornar a la Tierra. La altura de vuelo era de 435 Km. y cubría un área comprendida entre las latitudes 50N y 50S.

Como su nombre lo indica, es el primer laboratorio espacial, en el cual se realizan una serie de experimentos aplicados a diferentes campos de la ciencia, medicina, oceanografía climatología, y en pequeña relación al estudio de los recursos terrestres. Para este fin, se hallaba equipado con un paquete de seis sensores o instrumentos de experimentación, denominados en conjunto EREP (Earth Resources Experiment Package). Dos de ellos son sensores fotográficos y los cuatro restantes corresponden a sensores electrónicos.

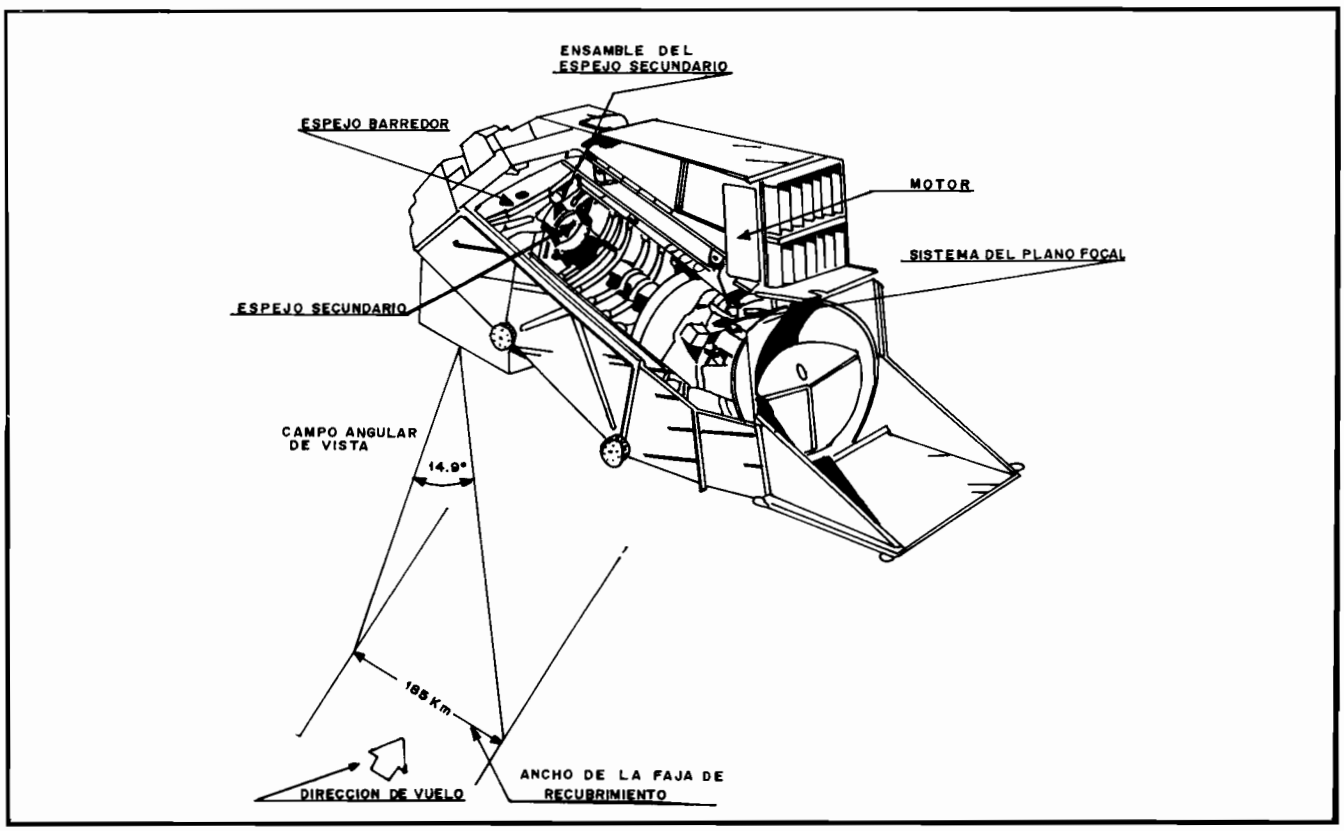


FIGURA 1.7.a Modelo del Sensor "Mapeador temático". (T.M.)

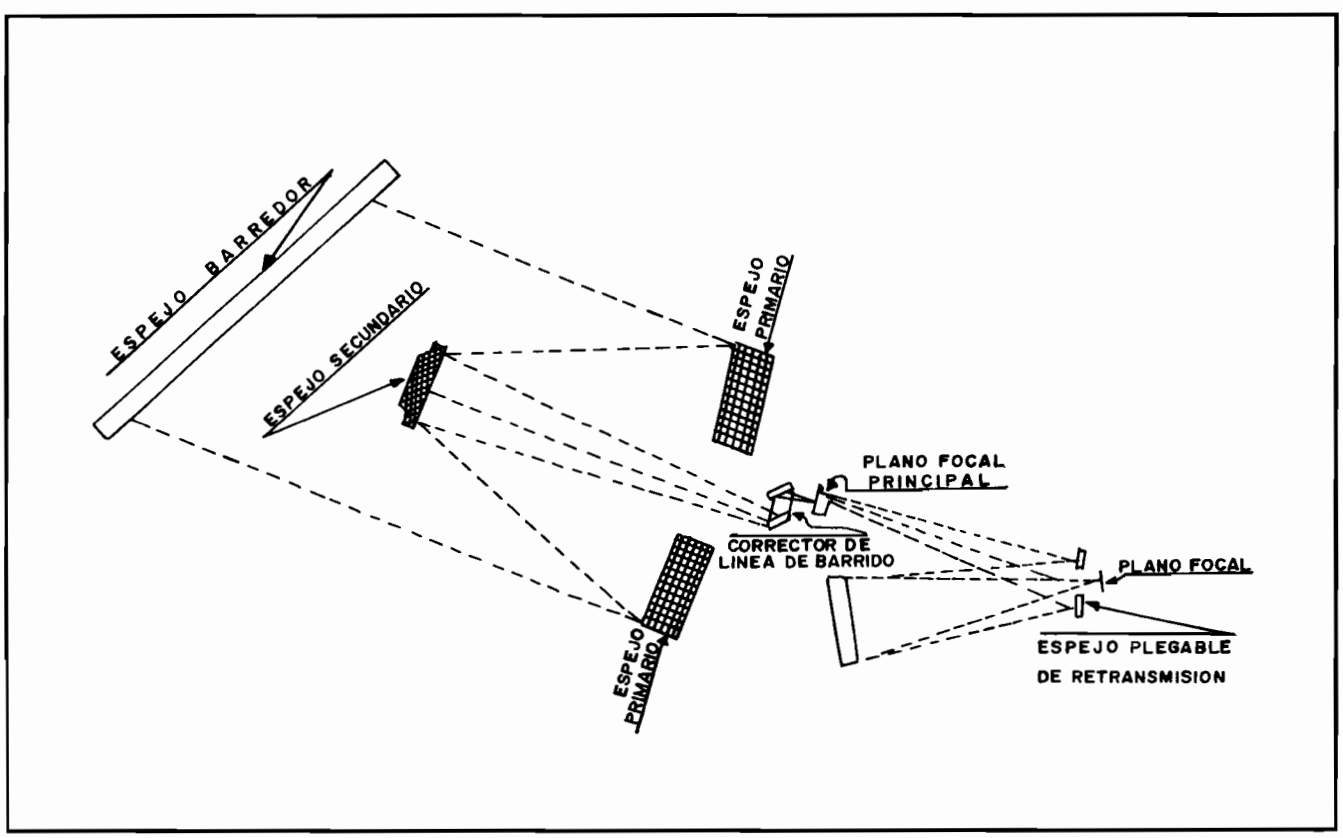


FIGURA 1.7.b. Elementos del Sistema Optico del Mapeador Temático. (T.M.)

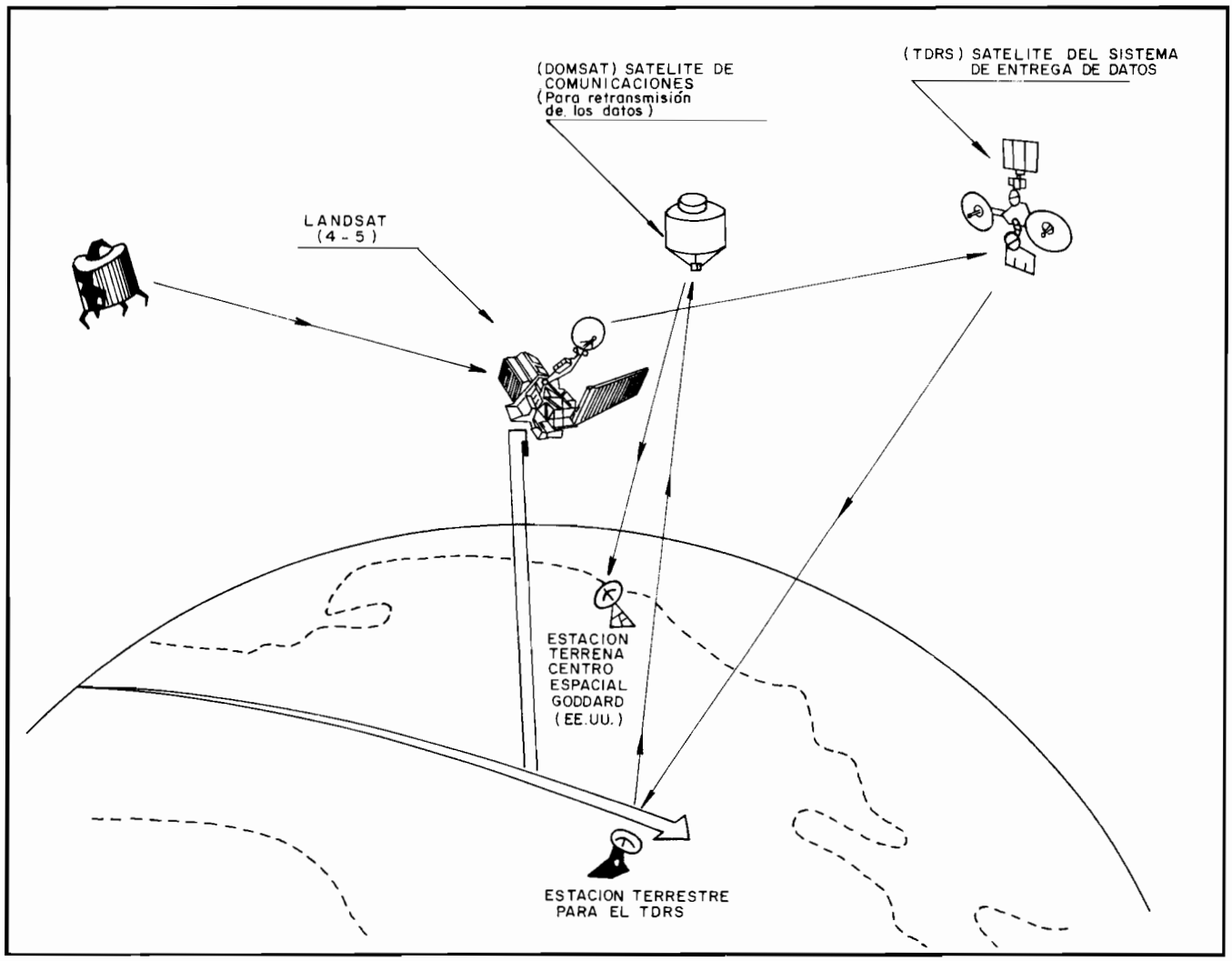


FIGURA 1.8 Módulo general de la Red de comunicaciones utilizado por el LANDSAT 4 y 5

Los sensores fotográficos son los siguientes:

a) Un Sistema de 6 Cámaras fotográficas multiespectrales idénticas, con diferentes combinaciones película/filtro que operan en el espectro visible e infrarrojo reflectivo o cercano con resoluciones que varian entre 60 y 145 metros.(Cuadro 1.5).Cubren un área de 163 x 163 Km. La escala es de 1: 2850000 que puede ser ampliada hasta 10 veces.

b) El segundo sensor, es una cámara fotográfica de alta resolución, denominada ETC (Earth Terrain Cámara) con un recubrimiento real de 109 x 109 Km. de escala 1: 950000, con resoluciones de segunda generación de 15 metros para fotografías blanco y negro y 30 metros para color normal e infrarrojo color.

Entre los sensores electrónicos, el más importante fue el sistema RADSCAT que operaba con un radiómetro de microonda pasivo, un escaterómetro activo, un radar altímetro, que fueron la base para el desarrollo del nuevo sensor de microondas, diseñado para el satélite SEASAT.

Otro sensor, fue el barredor multiespectral, cuyo principio de operación es similar al sistema MSS del Landsat, aunque operaba con un mayor número de canales, trece en total, en las regiones del espectro visible, infrarrojo reflectivo y termal (cuadro 1.5)

Los otros sensores son un radiómetro y un espectrómetro infrarrojo.

HCMM HEAT CAPACITY MAPPING MISSION . El satélite HCMM (Misión de Mapeo de la Capacidad Termal) es el primer satélite, de la serie de los satélites de aplicación para la exploración. Pertenece al grupo de aquellos satélites, que comparados con el Landsat, son de menor costo, más pequeño en dimensiones y con precisión menor en su órbita. Fue puesto en órbita el 26 de abril de 1978, dejó de funcionar el 30 de septiembre de 1980. La altura de vuelo era de 620 Km.

El principal objetivo, del lanzamiento de este satélite, fue el de evaluar experimentalmente, la utilidad de realizar medidas de la temperatura de la superficie terrestre, en especial para observar los contrastes diarios más fuertes de temperaturas máximas y mínimas que ocurren en ella.

Por esta razón, la configuración de la órbita de vuelo, fue programada para que pase por el mismo punto, a las horas en que las temperaturas máximas y mínimas, alcanzan los valores más altos del día. Por ejemplo a hrs 13.30 y 2.30 am. en regiones nórdicas de latitud media 40.

Para el registro y detección de estos valores, utiliza el sensor HCMR o Radiómetro para Mapeo de la Capacidad Termal o Calorífica, que opera en dos bandas, que corresponden al espectro visible e infrarrojo reflectivo la primera, y la segunda, al infrarrojo termal, con resoluciones de 500 y 600 mts respectivamente. (Cuadro 1.8)

Con estos valores, es posible realizar estimaciones de la Inercia Termal o Calorífica de los materiales de la superficie terrestre. Por lo tanto existe la posibilidad de identificar y diferenciar a escala regional, los tipos de rocas, unidades litológicas formacionales, identificar niveles freáticos superficiales, estimar valores de humedad del suelo, preparar mapas de polución termal, mapas de las superficies cubiertas por nieve.

SEASAT (SAR). Con este programa se inician los primeros experimentos con sistemas de radar, instalados en satélites para obtener imágenes de radar, que sean de alta resolución.

El Seasat, fue diseñado para realizar investigaciones oceanográficas, como observaciones de temperaturas de la superficie del océano, obtener perfiles del relieve submarino, características de las olas marinas, medir velocidades y dirección del viento, etc. Sin embargo muchas de las imágenes tomadas, correspondían a áreas de la superficie terrestre, lo que también ha permitido realizar una evaluación de la información que pueden proporcionar estas imágenes, para la interpretación de las características topográficas y temáticas del terreno.

Para cumplir con esos objetivos, el SEASAT, se hallaba equipado con cinco sensores, que detectan radiaciones correspondientes a microondas activas y pasivas, al infrarrojo cercano y al espectro visible. (Cuadro 1.6). Operan durante el día y la noche. Estos sensores son los siguientes:

- Radar altímetro (ALT)
- Escaterómetro (Dispersómetro) (SASS)
- Radiómetro de barrido de dos canales (MRS)
- Barredor de microondas de multifrecuencia (SMMR)
- Radar de apertura sintética (SAR)

El radar de apertura sintética (SAR) es el sensor más importante del SEASAT, es un sensor formador de imágenes, con una resolución del terreno de 25 mts. el ancho de la faja de recubrimiento

es de 100 Km y la altura de vuelo de 800 Km.

Debido a cortes eléctricos ocurridos en el sistemas del SEASAT, el tiempo de operación, solo tuvo una duración de tres meses, desde el 26 de Junio de 1978 hasta el 10 de Octubre de 1978.

En la misma década de los años 70, otros paises también realizaron investigaciones con propósitos similares a los realizados en E.E.U.U..Entre ellos se puede citar a Rusia que en el año 1975, puso en órbita al satélite SALYUT, como parte de un Programa Internacional de Investigación de la Biósfera. Este satélite utilizaba el sensor denominado KATE, integrado por un espectrómetro multibanda y radiómetros de hiperfrecuencia, utilizados el primero para la observación de la atmósfera terrestre y su influencia sobre las mediciones de las radiaciones, y el segundo para el estudio de las capas de la atmósfera.

El año 1976, Rusia y Alemania Oriental, realizan un experimento conjunto y utilizan la cámara multibanda MKF-6, fabricada por la Carl Zeiss Jena, montada en el satélite soviético SALYUT-SOYUZ. (Cuadro 1.1) Esta cámara, es multibanda, con una capacidad de registro en seis bandas espectrales, y opera en el espectro visible y el infrarrojo cercano. Por la alta resolución fotográfica (20 metros) y la calidad de la imagen que produce, inclusive en ampliaciones a escala 1:50000 ha sido utilizada, en todas las estaciones espaciales soviéticas lanzadas, después del año 1976. (Cuadro 1.1)

Otro hecho importante relacionado con el desarrollo de las técnicas de percepción remota, en los años 70, es la importancia que empieza a tomar el diseño de computadoras más rápidas y de mayor capacidad, así como el software, el uso de terminales y programas especiales, para realizar el procesamiento digital de las imágenes del Landsat.

Es preciso hacer notar, que el desarrollo de las técnicas de procesamiento digital de imágenes, tiene su origen en el campo médico en los años 60. Por el año 1964, el Laboratorio Jet Propultion de Pasadena, California, E.E.U.U., inició los primeros trabajos en el uso de técnicas de computación, para mejorar la calidad de las imágenes tomadas por los primeros satélites, con el objeto de conseguir mayor información de ellas, cuando se realiza la interpretación visual monoscópica de las mismas. Desde entonces se crea una diversidad de lenguajes y sistemas. Entre ellos podemos citar los siguientes sistemas: VICAR, LARSYS, ASTEP, VIDAMS, MSFC, etc.

Por último, es importante mencionar que en esa década empieza a publicarse los primeros textos, sobre los conceptos, teoría, principios y aplicaciones de esta nueva disciplina, que es la percepción remota. Así se puede citar a la Sociedad Americana de Fotogrametristas, que el año 1975, publica el primer manual sobre percepción remota. (Manual of Remote Sensing).

En la década de los 80, esta tecnología se caracteriza por el desarrollo de nuevos sistemas de sensores, con valores más altos en su resolución espacial y espectral, las escalas de las imágenes proporcionadas son mejoradas, por lo que la cantidad de información que ofrece es también mayor. Al ampliar el rango de sensibilidad de los sensores, se ha mejorado la posibilidad de realizar mayores comparaciones entre imágenes para realizar estudios más detallados y específicos aplicados al conocimiento y evaluación de los recursos naturales de una región.

De igual manera, va aumentando por parte de los profesionales el interés por las nuevas técnicas de procesamiento y análisis digital de imágenes; por la capacidad de algunos programas de computación, que utilizando terminales, hacen posible la reproducción de las imágenes de satélite en monitores, para su análisis directo e interpretación visual de las mismas, después de haber pasado por un proceso de mejoramiento, en la calidad de las mismas. Estos programas que constituyen el

Software que se utiliza actualmente en el procesamiento y análisis digital de imágenes, han sido desarrolladas por muchas compañías en especial americanas. Dichos programas han sido designados con diferentes nombres de acuerdo a las características de las mismas. Así la forma más simple de procesamiento digital de imágenes utiliza un microprocesador que convierte los datos digitales de la cinta magnética en una imagen con correcciones mínimas en su geometría y calibración. Entre esos programas se pueden citar a los sistemas ERDAS PC, I2S 75, VIP, etc. (Fotos 1.2, 1.4b, 1.5)

Otro caso es el de las computadoras grandes, que son utilizadas para manipulaciones interactivas sofisticadas de los datos para producir imágenes, en las cuales las informaciones más importantes han sido extractadas y enfatizadas. Entre esos programas se hallan los sistemas, I2S 6500, IDIMS, IP 8500, ARIES III, etc.

Los diseños de los satélites, han sido modificados en relación a los de la década anterior, siendo en su generalidad de mayores dimensiones y más complejos.(Landsat 4 y 5, SPOT).

E.E.U.U. pone en órbita, la segunda generación de los satélites Landsat 4 y 5 (Cuadro 1.1). La responsabilidad del programa es transferida en 1983 a la NOAA; posteriormente en 1985, se convierte en un programa operacional, bajo la administración de la Compañía privada "EOSAT", que es un joint venture entre la Hughes Aircraft Company y la RCA (Radio Corporation of America) Las características de estos dos satélites se han descrito anteriormente, en forma conjunta con los Landsat 1 - 2 y 3 de la primera generación. (Cuadros 1.1 y 1.4)

Otro programa que E.E.U.U. ha desarrollado con máxima prioridad en la década de los 80, es el que corresponde a las "Naves Transbordadoras Espaciales", que pueden transportar una tripulación máxima de siete personas, incluyendo al comandante, piloto y misiones de especialistas. Fue diseñada por la NASA, para los siguientes propósitos: a) para servir de plataforma reutilizable para realizar experimentos y colección de datos del espacio. b) para ser utilizada como base de lanzamiento de futuros satélites de percepción remota, con el propósito de realizar experimentos con nuevos diseños de Sensores Remotos c) aumentar la capacidad de estas naves para transportar sensores más sofisticados que los anteriores satélites, no podían hacerlo debido al tamaño reducido de ellas. d) para permitir que en las misiones de vuelo, participe además una tripulación integrada por científicos. e) para realizar el mantenimiento de satélites en el espacio.

Este programa constituye uno de los avances más notables logrados en la década de los 80. Los primeros lanzamientos de los transbordadores, se realizaron desde el Centro Espacial Cabo Cañaveral (E.E.U.U.). A partir de 1987, fueron lanzados desde la Base Aérea de Vanderberg, en la costa de California. (E.E.U.U.)

El primer lanzamiento de una nave transbordadora fue realizado el 12 de abril de 1981, con el nombre de STS-1 COLUMBIA. Con ella se inician una serie de experimentos, para demostrar el uso potencial de este tipo de naves en la investigación y aplicaciones de tipo civil y militar.

Entre los principales campos de investigación, que el Programa de las Naves Transbordadoras pretende realizar, se pueden citar a los relacionados con Geología, Química, Biología Marina, Meteorología, Fisiología de las Plantas, Recursos Naturales, etc. para lo cual experimentará con un paquete de sensores remotos, diseñados para este fin y denominados en su conjunto con el nombre de paquete OSTA (Oficina de Aplicaciones Terrestres y Espaciales)

El 12 de noviembre de 1981, se produce el lanzamiento de la nave transbordadora STS-2 Columbia, en el cual se instaló un radar de apertura sintética denominado SIR-A, construído con algunos de los componentes del primer radar de apertura sintética (SAR) instalado en el SEASAT.

El SIR-A opera en la banda L (23.5 cm de longitud de onda), con polarización horizontal, resolución espacial de 40 mts y un ancho de la faja de recubrimiento de 50 Km. (Cuadros 1.6 y 1.7). Los datos colectados a bordo han sido obtenidos, utilizando registros ópticos y no digitales. A pesar del tiempo muy reducido de operación, (8 horas), la cantidad de información alcanzó a cubrir un área de 10 millones de Km^2 de la superficie terrestre. Estos datos han servido para evaluar el potencial del radar orbital para el mapeo geológico, discriminación de tipos de roca, estudios geomorfológicos, suelos y agricultura, la habilidad de este sistema para penetrar la superficie de terrenos de regiones extremadamente áridas, dando la posibilidad de identificar redes de drenajes cubiertas por arena muy suelta.

El segundo sistema de radar, formador de imágenes, del mismo tipo de sensor que el SIR-A, fue el SIR-B, instalado en la nave transbordadora STS-17 Challenger, lanzado en el mes de octubre de 1984. Las características de este nuevo sensor, son similares a las del SIR-A, sin embargo el registro en este caso, es tanto digital como óptico. Lamentablemente la calidad de los datos, no han sido buenos en su generalidad. NASA tiene programado mejorar estas dos versiones de radar, con el SIR-C que será lanzado en 1990 y el SIR - D para la década de los años 90, los que operarán con tres bandas (X, C y L)

El primer lanzamiento de un satélite, desde un transbordador espacial, se realizó el 11 de noviembre de 1982 con la misión de vuelo STS-5 Columbia, mediante el cual se puso en órbita dos satélites comerciales de comunicaciones.

En noviembre de 1983, se instala en el transbordador STS-9 Columbia, el Primer Laboratorio Espacial, denominado SPACELAB, con la participación de la Agencia Espacial Europea ESA, (Cuadro 1.1). El SPACELAB, llevaba una cámara aérea fotogramétrica Zeiss RMK A30/23, cuyo objetivo, era el de evaluar el uso de está cámara para mapeos cartográficos y topográficos a escala 1:50.000. La cámara utilizó películas infrarrojo color, blanco y negro, con formato de 23 x 23 cm., de escala 1:826000, altura de vuelo de 250 Km. y con una resolución del terreno de 20 mts. La sobreposición del 60 % entre tomas fotográficas, permite realizar la observación estereoscópica de estas fotografías.El segundo sensor, el MRSE fue un instrumento para experimentar en la región de las microondas.

Otro vuelo que realizó experimentos con cámaras, fue el lanzado en octubre de 1984, con la Misión STS-17 Challenger que además del sensor SIR-B, llevaba la cámara diseñada en E.E.U.U. denominada LFC o cámara de formato grande, (Cuadro 1.1) con una resolución espacial máxima de 5 mts. de formato de 46 x 23 cm.

En junio de 1983 y febrero de 1984, se realizaron dos vuelos, el STS-7 y el STS-11-41- B en los que se experimentó, un sensor diseñado por el Establecimiento de Investigaciones Aéreo -Espaciales de Alemania Federal (DFVLR). Este sensor denominado "MOMS" (Barredor Multi-espectral Modular Optoelectrónico) es un barredor del tipo Pushbroom o Sistema linear de Barrido en Dirección del Vuelo, opera con dos canales, uno en el rango del espectro visible (0.57 - 0.62 μm) y el otro en el infrarrojo reflectivo o cercano (0.82 - 0.97 μm) con una resolución espacial de 20 mts. Las imágenes obtenidas por este sistema son pocas, y ellas solo son distribuidas a investigadores seleccionados por el DFVLR.

Entre los transbordadores utilizados por E.E.U.U. para fines militares, se puede citar al transbordador ATLANTIS, lanzado el 2 de Diciembre de 1988, que ha puesto en órbita un satélite gigante de 18 toneladas de peso, llamado LACROSSE, cuyo objetivo principal, fue el de tomar imágenes de objetivos militares de la Unión Soviética y Alemania Oriental, utilizando sistemas de

radar de alta resolución. El satélite LACROSSE, también denominado KH11, que en número de seis constituyen una flotilla de satélites espias, también ha sido utilizado en la crisis del Medio Oriente, provocada por Irak en agosto de 1990. En estos satélites, se hallan incorporados una serie de sensores remotos, que trabajan con radiaciones de diferentes regiones del espectro electromagnético, caracterizados por su alto poder de resolución espacial, radiométrica y espectral, permite la detección de objetos con diámetros mayores a los 15 cm.

El Programa Espacial Francés influenciado por el Programa Landsat, organizó en 1977, bajo la responsabilidad del CNES (Centro Nacional de Estudios Espaciales) el programa denominado SPOT (Sistema de Prueba para la Observación de la Tierra) con el objeto de diseñar un satélite, para ser aplicado en estudios relacionados con el conocimiento y exploración de recursos geológicos, estudios del uso actual de la tierra y para fines cartográficos, para la preparación de cartas topográficas y temáticas a escalas 1:50000 y 1:100000.

Este satélite, denominado SPOT (Fig.1.9) fue puesto en órbita el 21 de febrero de 1986, utilizando el cohete Ariane en su lanzamiento. Es el primer satélite de percepción remota para fines comerciales, diseñado para prestar un servicio de alta calidad de datos, con imágenes de alta resolución, bajos ciertas condiciones las imágenes pueden tener recubrimiento para estereoscopía. El SPOT está colocado en una órbita sincrónica con el Sol, a una altura aproximada de 832 Km. El intervalo del ciclo de observación es de 26 días, pero debido a la habilidad de los sensores para observar áreas en posición oblicua imágenes sucesivas pueden ser adquiridas con un promedio de 2.5 días de intervalo.

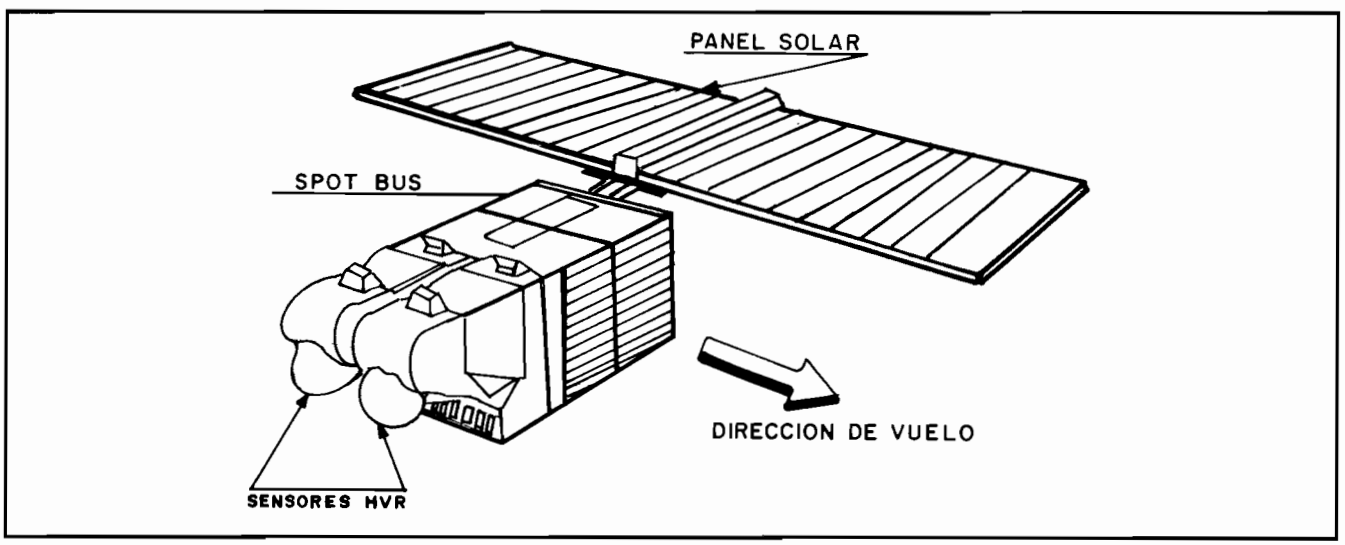


FIGURA 1.9 Satelite Spot

Los instrumentos instalados en el SPOT son:

a) Dos sensores idénticos

b) Un transmisor de Telemetría

c) Un equipo de grabación para cintas magnéticas.

Los dos sensores, denominados HRV (Visible de Alta Resolución) son barredores multi-espectrales, cuyo sistema de barrido es realizado a lo largo de la dirección del vuelo. (Fig. 1.10). Este

sistema también es conocido como "Pushbroom Scanning" o Sistema Linear de Barrido en Dirección del Vuelo, que a diferencia del barredor del Landsat, puede registrar simultáneamente una línea entera de datos, perpendicular al vuelo sin realizar movimiento mecánico alguno. Otra innovación de este sistema, es la habilidad para controlar la orientación del espejo por comandos desde la tierra, lo que permite al satélite adquirir imágenes oblícuas.

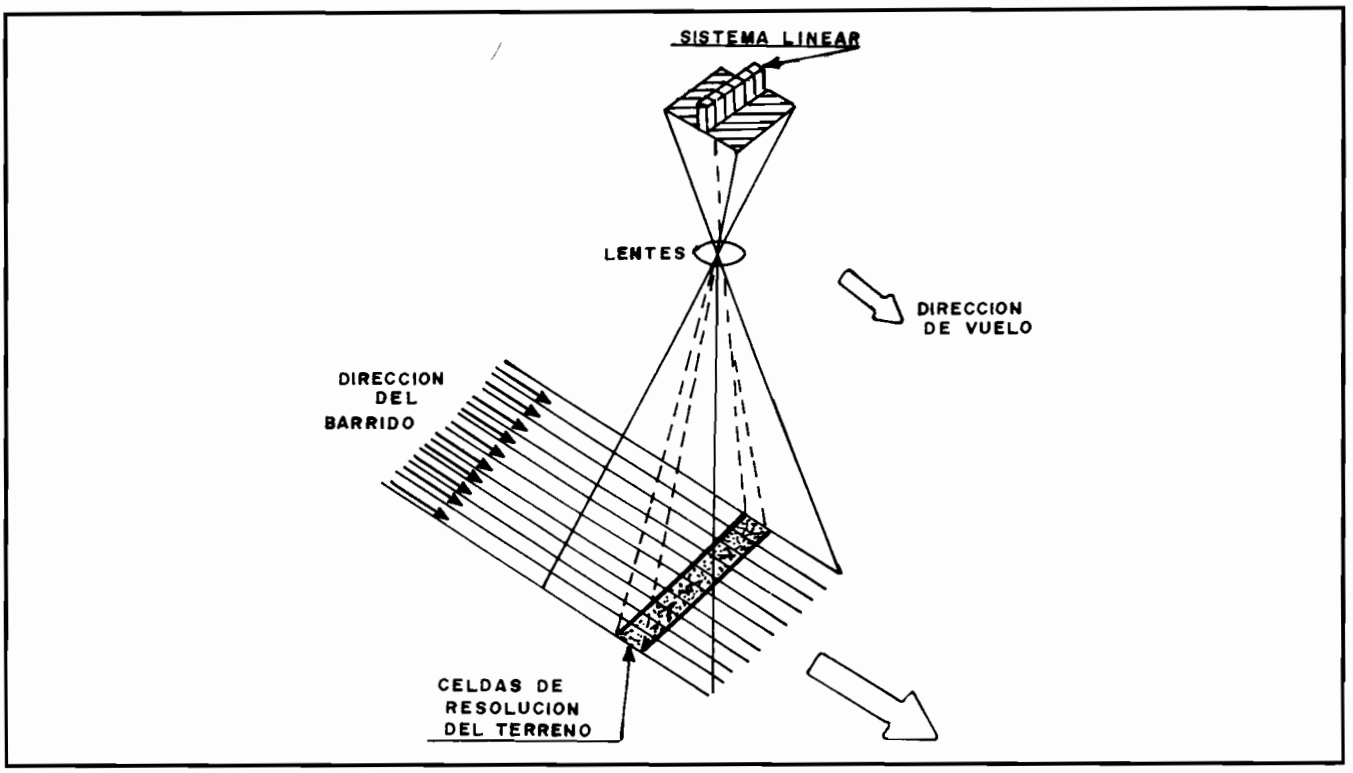


FIGURA 1.10 Sistema linear de barrido utilizado por los sensores HVR del SPOT (Pushbroom Scanning)

El HVR opera en dos modos :

a) Modo PANCROMATICO

b) Modo MULTIESPECTRAL

En el modo PANCROMATICO,el sensor es sensitivo a una sola banda espectral ancha, con valores de 0.51 a 0.73 μm. El ancho individual de la faja de recubrimiento es de 60 Km. con una resolución espacial de 10 mts. (Cuadro 1.9)

En el modo MULTIESPECTRAL (XS), el sensor registra imágenes en tres bandas, dos en el espectro visible y una en el infrarrojo reflectivo o cercano. (Cuadro 1.9) La resolución en este modo es de 20 mts. el ancho individual de la faja de recubrimiento es de 60 Km. Las imágenes que se registran en este modo, pueden ser utilizadas para preparar imágenes a Falso Color, como ocurre con las imágenes MSS del Landsat.

Otra característica de estos sensores, es que pueden operar en dos posiciones con relación a la vertical o nadiral, con características geométricas diferentes en las imágenes obtenidas.

Así para la observación vertical o nadiral, ambos sensores son orientados de manera que suministran recubrimiento de segmentos adyacentes de áreas de 60 Km. con sobreposición de 3 Km.

dando un recubrimiento total del ancho de la faja observada de 117 Km. (Cuadro 1.9 y Fig. 1.11)

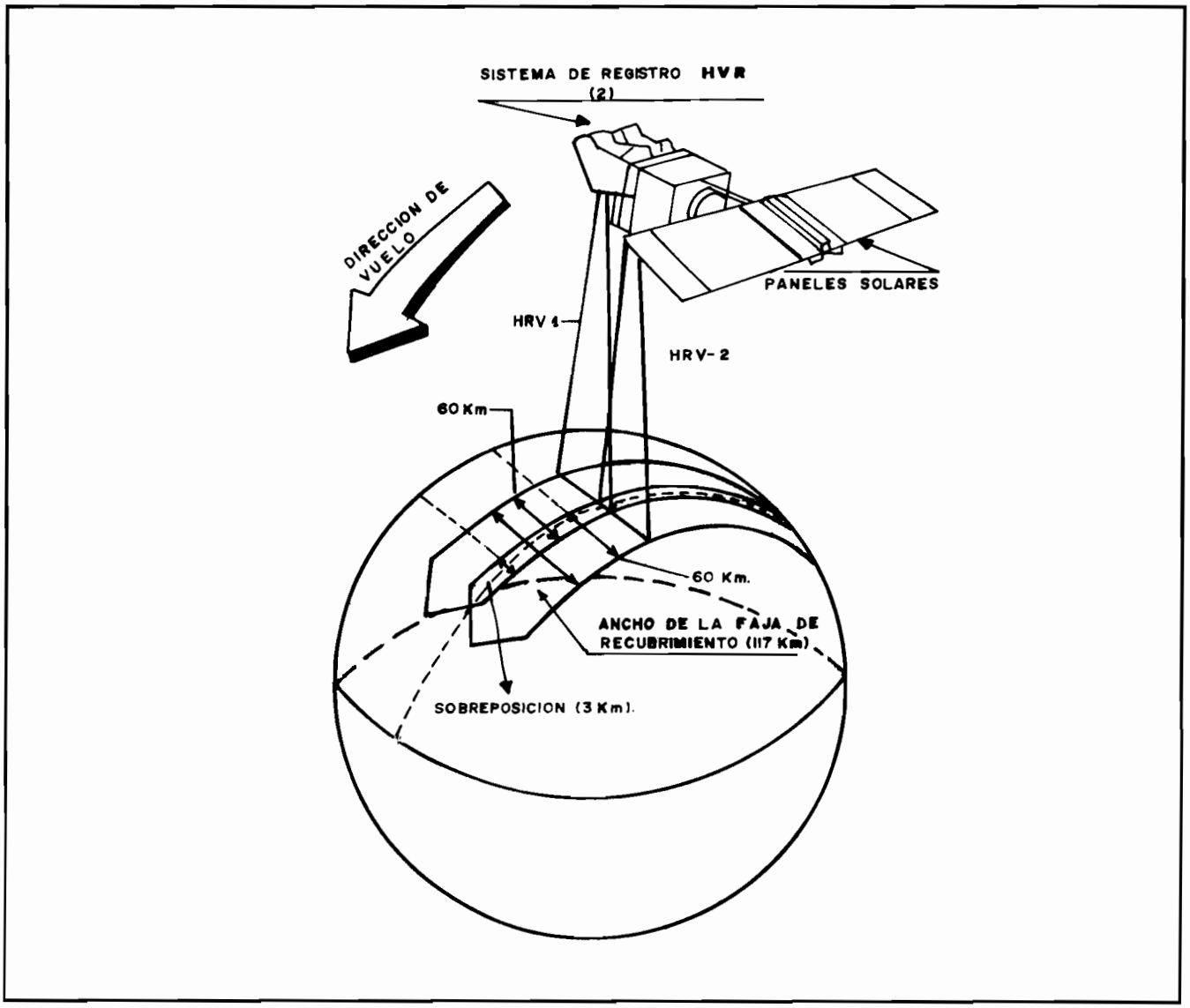


FIGURA 1.11 Registro de imagen del SPOT en el modo de posición NADIRAL o VERTICAL

En la posición que no corresponde a la nadiral, es posible colocar el campo de vista del HVR, hasta inclinaciones de 27 grados con relación a la vertical, (Fig.1.12) en un plano perpendicular al plano de la órbita. Está característica es posible debido a que el sensor observa la tierra, a través de un espejo que puede ser controlado en su movimiento por comandos desde la tierra. Aunque la orientación del espejo puede ser cambiada, no es igual que el espejo barredor usado por el MSS y el TM del Landsat. Con esta característica los sensores pueden observar cualquier área dentro de un ancho de faja de 950 Km. con la opción de registro de escenas que se hallen a 10 Km de separación entre ellas. (Fig. 1.12)

Cuando el SPOT trabaja en la Posición No Nadiral, el ancho de la faja de recubrimiento de las imágenes individuales varia de 60 a 80 Km. dependiendo del ángulo de observación. Alternativamente la misma región puede ser registrada en pases diferentes del satélite, para obtener la sobreposición que se requiere para la observación estereoscópica de las imágenes.

Ambos sensores no requieren operar en un modo o configuración idéntica, un HVR puede

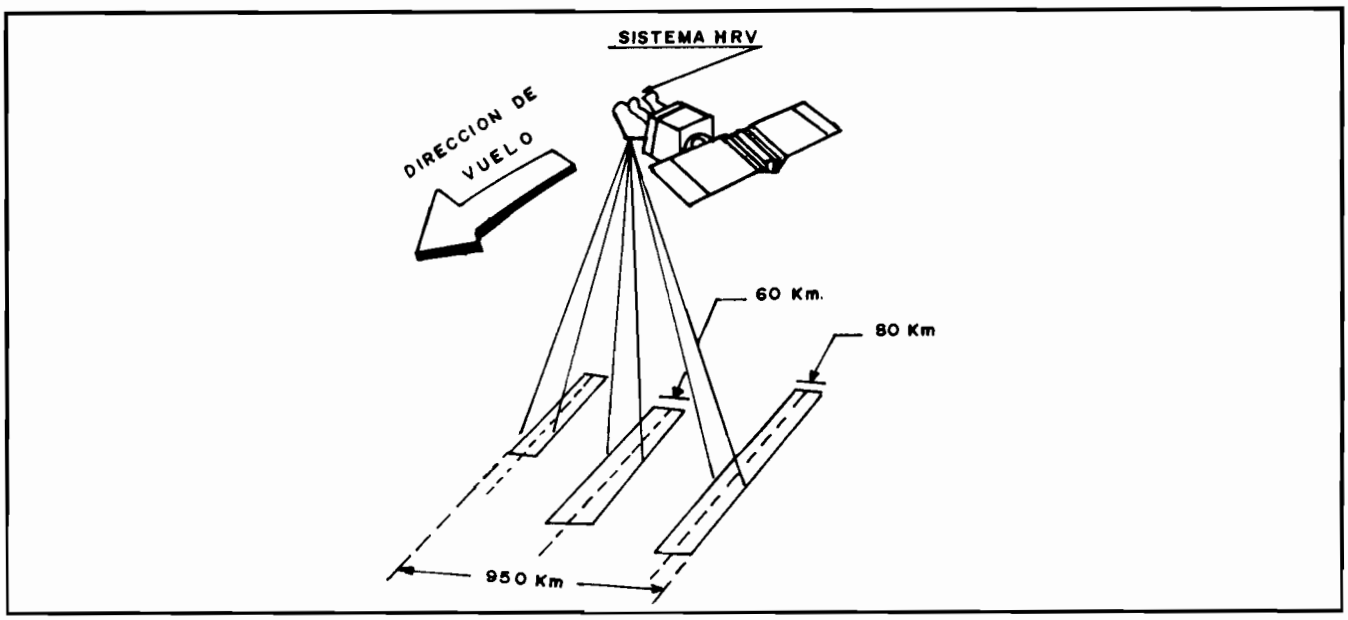


FIGURA 1.12 Registro de imágenes del SPOT en el modo NO NADIRAL u OBLICUO

operar en el modo vertical, mientras que el otro se halle operando en el modo oblicuo. Esta característica tiene dos implicaciones importantes: a) que puede obtener un recubrimiento con estereoscopía, cuando se registran imágenes de la misma área, en diferentes órbitas a diferentes ángulos de visión. b) Esta posición permite obtener imágenes de la misma área en días sucesivos con un intervalo que puede ser de hasta dos y medio días para áreas prioritarias.

Debido a los valores de la resolución del terreno de este sensor y por su versatilidad en la interpretación de estas imágenes, con los métodos y técnicas convencionales de Fotointerpretación, las imágenes SPOT, son las más adecuadas por el momento, para su uso en la preparación de mapas temáticos (mapas geológicos, mapas de suelos, mapas forestales, etc).

Otra ventaja que ofrecen estas imágenes, es el área que cubre el formato de ellas, que corresponde a 60 x 60 Km comparado con los 185 x 185 Km. del Landsat.

Entre las desventajas de las imágenes SPOT, se podría mencionar la introducción de nuevas variables que influyen en la interpretación visual de ellas, en el procesamiento digital y extracción de datos, debido a que el registro de estas imágenes, es realizado mediante el Sistema Linear de Barrido en Dirección del Vuelo o Sistema Pushbroom, en el cual la influencia del ángulo de toma, las condiciones climáticas y las diferencias en iluminación del terreno en los diferentes pases del satélite en el momento del registro de la imagen es importante. Otra limitación que tienen las imágenes SPOT en comparación a las del Landsat 4 y 5, es su menor resolución espectral. En otras palabras, el registro de las imágenes SPOT es realizado en un número menor de bandas, correspondiendo solo a longitudes de onda del espectro visible e infrarrojo reflectivo. (Cuadros 1.4 y 1.9)

El control terrestre es suministrado por la estación terrena ubicada en Toulouse, Francia.La recepción directa de las imágenes por otras estaciones, solo es posible para aquellas que se hallan ubicadas dentro el radio de 2600 Km de las estaciones receptoras. Para aquellas regiones que se hallan fuera de este rango, la información es grabada en cintas magnéticas, instaladas en el SPOT. La recepción de datos es posible en estaciones existentes de recepción de datos del Landsat, siempre que ellas hayan sido acondicionadas para este propósito.El procesamiento de datos se halla bajo la responsabilidad del Centro Nacional de Estudios Espaciales de Francia (CNES) y el Instituto

Geográfico Nacional de Francia (IGN). Otra de las estaciones de importancia de recepción de datos es la de Kiruna, ubicada en Suecia, país que también participó en la construcción de este satélite.

El SPOT 2, ha sido puesto en órbita el 21 de enero de 1990.

Rusia, por su parte, además de las cámaras multibandas, implementa sus satélites desde 1980, con Barredores Multiespectrales, que tienen resoluciones de terreno, que van desde los 1000 a los 30 mts., detectando y registrando imágenes en un número superior al de ocho canales o bandas espectrales. La Unión Soviética en 1980, inicia la operación de la serie de satélites meteorológicos, denominados "METEOR" que utilizan tres sensores diseñados para observaciones experimentales de los recursos terrestres. Los sensores son los siguientes:

- El MSU-SK. Barredor multiespectral opticomecánico, análogo al Sistema MSS del Landsat, opera con cuatro bandas o regiones espectrales (Cuadro 1.1)

- El MSU-E. Barredor multiespectral de estado sólido, similar a los descritos en el SPOT. (Cuadro 1.1)

- El FRAGMENT barredor sensible a ocho regiones espectrales en el infrarrojo reflectivo y el espectro visible.

Otro satélite lanzado por la Unión Soviética, en julio de 1982, fue la nave espacial tripulada SALYUT 7. El propósito de este vuelo fue el de realizar experimentos con cámaras multibandas, tales como los sensores KATE-140 y MKF-6.

El sistema MFK-6, se halla constituido por seis cámaras multiespectrales, con distancia focal de 125 mm., resolución de 160 líneas por mm. y un formato de 55x81 cm. Operan en el rango de 0.45 a 0.94 μm de longitud de onda. (Cuadro 1.1) El segundo instrumento es el sensor KATE-140, que es una cámara métrica para mapeo, con 140 mm de distancia focal, resolución de 50 l/mm, con formato de 18x18 cm, correspondiendo aproximadamente para cada fotografía, una área de 450 x 450 km.

Otro grupo de satélites puesto en órbita por Rusia, corresponde a los de la serie COSMOS, con sus misiones 1500 y 1602 lanzados en 1982 y1984, que utilizaron barredores para realizar tanto observaciones terrestres como marinas. Estos barredores operan con radiaciones del infrarrojo reflectivo y rspectro visible. Además cuenta con un radar de apertura sintética SAR con resolución del terreno que varía entre 200 a 1500 m. El COSMOS1689, puesto en órbita en 1985, es un satélite que realiza una serie de experimentos, utilizando varios sensores que ya fueron utilizados por misiones anteriores del Cosmos y Meteor. Los sensores fueron los siguientes: MSU-SK, MSU-S, MSU-M, MSU-G y el FRAGMENT, cuyas características son similares a las descritas anteriormente. (Cuadro 1.1)

Rusia, desde el año 1988, cuenta también con su transbordador. El 15 de noviembre de 1988, se realizó el primer lanzamiento del transbordador BURANE (Tormenta de nieve). En sus características es casi idéntico a los transbordadores norteamericanos, especialmente en las dimensiones de la cabina, bodega y capacidad de carga útil comparable.

Los paises europeos a través de la Agencia Espacial Europea (ESA), han realizado una serie de experimentos relacionados con el diseño de nuevos sensores remotos, con el diseño de cohetes para el lanzamiento de satélites, con la operación de satélites meteorológicos, con la programación de satélites para percepción remota aplicada a observaciones oceanográficas y te-rrestres e investigaciones específicas en diferentes campos de las ciencias.

En algunos de los vuelos de las naves transbordadoras, realizados en la década de los 80, se han instalado varios instrumentos o sensores suministrados por la Agencia Espacial Europea, (Spacelab) (Cuadro 1.1).

1.2.2 **Futuro de la Percepción Remota. -** Analizando los logros alcanzados durante los últimos 18 años, desde el primer vuelo orbital de los satélites de la Misión Landsat, es posible asegurar que en el futuro, la aplicación de las técnicas en percepción remota, serán utilizados con mayor intensidad, especialmente en la generación de mapas topográficos y mapas temáticos, ya que los beneficios económicos sociales y científicos que ofrece realmente son halagadores.

Entre las actividades más sobresalientes programadas para el próximo decenio de 1990, que serán encarados por los E.E.U.U. y otros paises como Rusia, Francia, Canadá, Brasil, Japón, la India, etc. que se hallan en una etapa avanzada de preparación, se pueden citar a las siguientes:

- En E.E.U.U., EOSAT, que es la compañía a cargo del Programa Landsat y de la comercialización de sus productos, se halla preparando el lanzamiento de un nuevo satélite llamado "OMNISTAR", para las misiones Landsat 6 y 7 (Cuadro 1.2) y tendrá las mismas características orbitales del Landsat 4 y 5. Los dos últimos satélites Landsat 6 y 7, han sido programados para ser puestos en órbita, los años 1991 y 1996. En ambos satélites, se mejoraran los sistemas Multiespectral y Mapeador Temático (TM), utilizando el nuevo diseño de registro de imágenes, mediante el sistema Multiespectral Linear. Los nuevos sensores que serán experimentados en el Landsat 6 son los siguiente:

a) Mapeador Temático Mejorado (ETM), con 15 bandas pancromáticas en adición a las 7 que originalmente poseía el TM.

b) El Barredor Multiespectral Emulado (EMSS), similar a los anteriores sistemas MSS del Landsat, que operará con cuatro bandas espectrales, en el espectro visible, infrarrojo cercano y el infrarrojo de onda corta, con resolución del terreno mejorada a 60 mts.Utilizará el código SWIR para la banda del Infrarrojo de onda corta, equivalente a la Banda 5 del Mapeador Temático del Landsat 5. (Cuadros 1.1 - 1.2 y 1.4.).

El Landsat 7, incluirá bandas más angostas, pero con mayor resolución espectral en el infrarrojo termal (TIR).Posiblemente incluya un sensor multiespectral más avanzado (MSA), con registro en 32 bandas espectrales, de las cuales 8 podrán ser registradas simultáneamente, en el espectro visible, infrarrojo reflectivo e infrarrojo de onda corta, con resoluciones del terreno de 20 y 30 mts.

- El gobierno francés, ha aprobado y asignado en parte, un presupuesto para continuar con uno de sus programas nacionales más ambiciosos de percepción remota, cuyo sistema más importante es el SPOT. Para ello se hallan programados dos nuevos satélites (SPOT 3 y 4), (Cuadro 1.2) con los cuales Francia, garantiza a los paises e investigadores usuarios de está información el suministro de datos SPOT por lo menos hasta 1998. Entre las innovaciones proyectadas en el SPOT 3 y 4, se encuentra la adición de un nuevo canal en el infrarrojo de onda corta (1.5 a 1.7 μm) de particular interés para estudios de vegetación. En los sensores HVR, se reemplazará el canal correspondiente al modo pancromático por el canal B2 (0.61 a 0.68 μm) con la misma resolución de 10 mts. que podrá ser muy bien utilizada con la combinación del modo multiespectral, que tendrá una resolución de 20 mts.

- La Agencia Espacial Europea (ESA) que viene realizando investigaciones en los programas de observación de la Tierra mediante satélites de percepción remota, tiene programados para los años 90, el lanzamiento del Satélite ERS-1 con sensores diseñados para realizar observaciones del océano, heleros continentales y también para aplicaciones meteorológicas. (Cuadro 1.2).

Entre los sensores que usará este satélite, se halla un instrumento que trabaja con microondas activas en la Banda C y ha sido denominado AMI. el cual opera como el radar de apertura sintética (SAR). (Cuadro 1.2).

- Es importante mencionar que otros países han empezado también a participar, organizar y apoyar a proyectos y programas relacionados con el diseño y lanzamiento de satélites para su aplicación al estudio de los recursos naturales. Entre ellos podemos citar a Canadá, que cuenta con su propio satélite, llamado RADARSAT, que está programado para ser puesto en órbita el año 1991. Se hallará equipado con un sistema de radar que operará en la Banda C. Un radiómetro avanzado de alta resolución, con dos bandas en el espectro visible, y opcionalmente 3 bandas en el infrarrojo medio y lejano. El tercer sensor será un barredor multiespectral, tipo Pushbroom. Alemania Federal, Inglaterra y la Agencia NOAA de los E.E.U.U., participarán en la implementación del sistema, cuando sea puesto en órbita.

- El gobierno del Japón, tiene planeado operar dos satélites. El primero, diseñado para realizar observaciones de los recursos marinos, será denominado MOS I. El segundo satélite, denominado JERS I, a ser puesto en órbita en 1991, será utilizado para su aplicación en la exploración de recursos geológicos, uso actual del suelo y mapeo de vegetación.

Por las características del sistema, será posible obtener visión estereoscópica con las imágenes de este satélite.

El paquete de sensores denominado "JERS I", se halla integrado por un radar de apertura sintética (SAR) de banda L, con polarización horizontal (HH), resolución espacial de 18 mts. y un ancho de recubrimiento de la faja de 75 Km. (Cuadro 1.2).

El segundo sensor es un radiómetro con cuatro bandas de registro sensible a las siguientes longitudes de onda, 0.45 a 0.52 μm, 0.53 a 0.60 μm, 0.63 a 0.69 μm y 0.76 a 0.80 μm. La resolución espacial es de 18 mts. y el ancho de recubrimiento de la faja es de 75 Km.

- Brasil, es otro país que se halla estudiando la posibilidad de realizar el lanzamiento de dos satélites de recursos terrestres en el marco del programa MECB Misión Espacial del Brasil, programado para 1990 - 1993, denominado BRASSEX, que llevará una cámara multiespectral, que opere con el espectro visible y el infrarrojo reflectivo. (Cuadro 1.2)

-Holanda e Indonesia, se hallan preparando el proyecto sobre el Satélite de Recursos Terrestres para regiones Tropicales (TERS)que serán puestos en órbita en 1991 y 1996. Por el tipo de estudio, que se pretende realizar con esos datos, el satélite tendrá una órbita Ecuatorial con sensores que cubrirán el área comprendida entre las latitudes 10 Norte y 10 Sur. Esta característica permitirá, que la obtención de datos, para un mismo punto, sea de cuatro veces al día, con el propósito de obtener imágenes que tengan un mínimo de cubierta de nubes. El sensor será un barredor multiespectral, con registro en tres bandas en el espectro visible e infrarrojo con resolución de 20 mts. y un recubrimiento de la faja de vuelo de 100 Km. Contará con otra banda también sensibilizada a las anteriores, pero con una resolución de 10 mts.

- La República Popular de China, tiene programado el lanzamiento de un satélite para el

estudio de los recursos de la Tierra que operara con sensores que detectan radiaciones del espectro visible, infrarrojo reflectivo y microondas.

- La India, ha desarrollado un programa a largo plazo relacionado con el lanzamiento de satélites y diseño de sensores, con la participación de otros paises (Rusia, Alemania Federal). El programa más importante corresponde a la serie de satélites de la misión IRS, iniciado en el año 1986, utilizando sensores que operan en regiones espectrales correspondientes al espectro visible, infrarrojo reflectivo, termal y microondas. Otro programa que será de interés, para las observaciones de la Tierra corresponde al satélite de la misión SROSSSerie de Satélites Rohini que opera con un Triple Estereo Barredor Electroóptico Monocular (MEOSS) diseñado en la República Federal de Alemania, con el propósito de obtener estereoscopía, con imágenes tomadas desde satélites.

- Rusia, continuará ejecutando varios de sus programas iniciados en la década anterior. Posiblemente, uno de los que mayor prioridad reciba, será el de las naves transbordadoras, cuyo primer vuelo experimental fue realizado en noviembre de 1988.

El adelanto tecnológico, logrado durante estas dos últimas décadas, señala un avance acelerado en los siguientes aspectos:

a) Obtención de información continua. Por las características orbitales de vuelo de los satélites, es posible obtener registros repetidos de imágenes a intervalos cortos, (días o semanas), hecho que en los pasados años era una limitación, especialmente cuando se trata de fotografias aéreas, que generalmente corresponden a registros con intervalos de años o décadas.

b) Desarrollo e introducción rápida de técnicas de procesamiento digital de imágenes y técnicas de interpretación automática. El mejoramiento de las imágenes, para su observación visual, ocupa una posición espectable, ya que ella permite que muchos rasgos del terreno registrados en la imagen puedan ser mejorados para realizar la interpretación visual de ellas. Ello puede conseguirse a través de correcciones geométricas y radiométricas, por métodos de ecualización, histogramas, filtrado de frecuencias y la clasificación automática. (Foto 1.4b), relación o proporción de Bandas (Band Ratios) usada para la discriminación e identificación litológica, alteraciones hidrotermales (Fotos 1.2 y 1.5)

c) Desarrollo de sistemas para el almacenamiento de información en una base de datos, con la subsecuente clasificación y entrega por medio de un Sistema Geográfico de Información (GIS), u otros similares.

d) Gran diversificación en las alturas de vuelo:

- 36000 Km para satélites meteorológicos geoestacionarios
- 700 a 900 Km para satélites orbitales sincrónicos con el Sol.
- 250 a 300 Km para naves transbordadoras
- 18000 a 200 mts para aviones que incluyen vuelos de hiperaltitud, convencionales y vuelos bajos de reconocimiento.

e) Gran diversificación de sensores, que operan en un amplio rango del espectro electromagnético, con longitudes de onda que van desde el ultravioleta hasta las microondas.



FOTO 1.4.a. Imagen LANDSAT-sistema multiespectral (MSS) - Infrarrojo Color combinación Bandas 4-5-7. Area ubicada entre los paralelos 18° 30' - 19° 30' de latitud Sur y 66o 30' - 67° 30' de longitud Oeste. (Lago Poopó-Challapata-Mesetas Moroco-cala y Livichuco-Frailes) Bolivia - Escala aproximada 1:1000000.



FOTO 1.4.b. Clasificación Supervisada - Clasificación digital de la imagen LANDSAT - Infrarrojo color - Bandas 4-5-7 correspondiente a la Foto 1.4
Color verde = Arena. Color amarillo = Arcillas. Color rojo y marrón oscuro = Rocas sedimentarias e ígneas extrusivas sin discriminar. Color marrón claro = Sedimentos en cuerpo de agua. Color azul = Cuerpos de agua

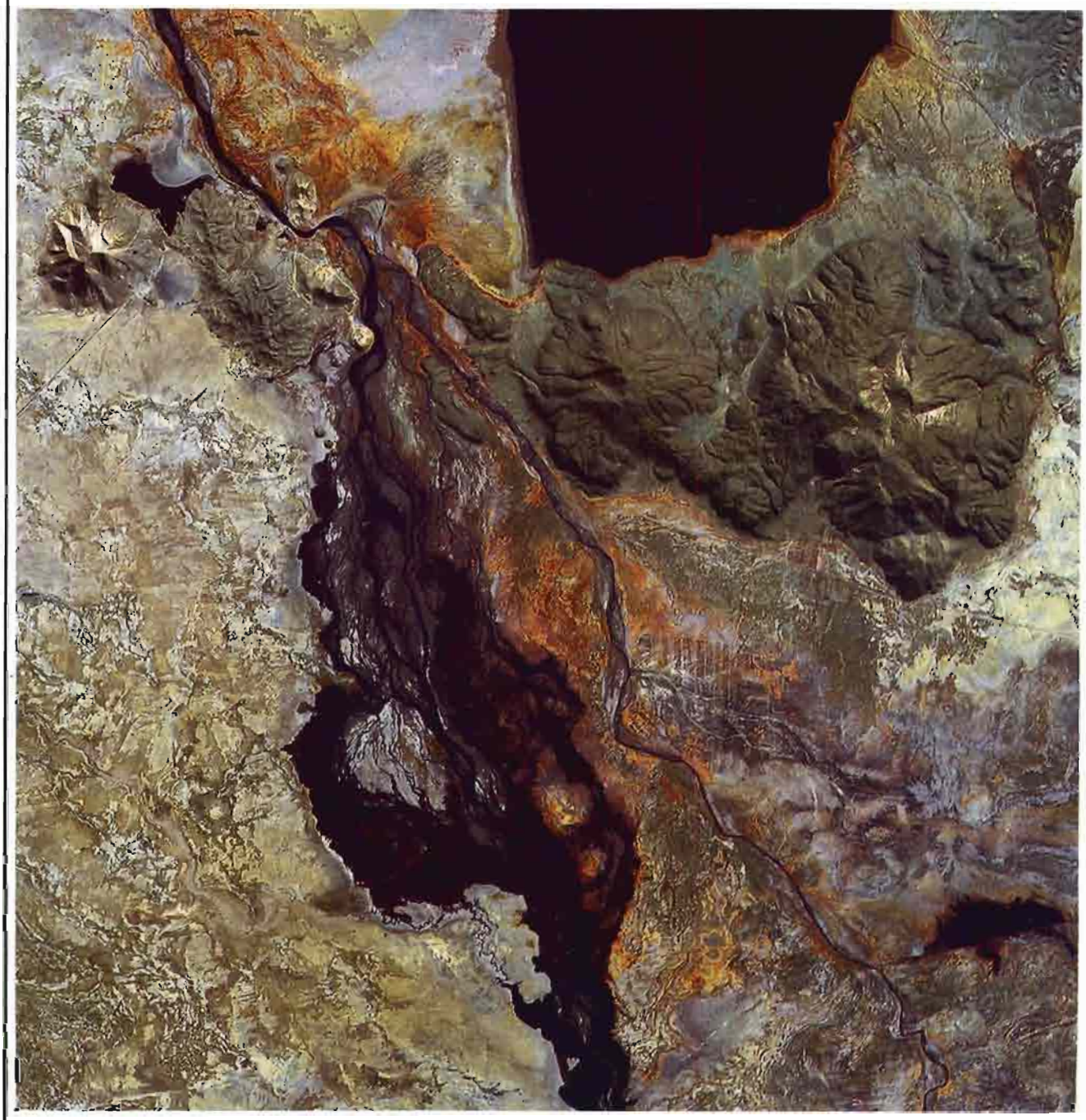


FOTO 1.5 Imagen LANDSAT-TM Mapeador Temático-Combinación de Bandas-Proporciones (ratios) 5/7-5/4-3/1-Enmascaramiento de agua y vegetación. La imagen muestra los yacimientos auríferos de La Joya-Koricollo (Inti Raymi) (Atención del Proyecto BID-USGS-GEOBOL)

f) Los proyectos para obtener estereoscopía con las imágenes de satélite, tendrán en esta década un rápido desarrollo. Ejos: Proyecto preparado por el DFVLR de Alemania Federal, que se halla preparando la construcción de un triple estereo barredor, para ser instalado en el satélite ROHIMI, a ser lanzado por la India. Satélites SPOT y LANDSAT.

g) Desarrollo de sistemas de radar con nuevos requerimientos en el procesamiento de imágenes. (ERS1)

h) Mayor precisión en la interpretación visual de las imágenes de satélite, por el aumento en la resolución del terreno desde 80 del MSS en el LANDSAT hasta 10 mts. en el SPOT

i) Tendencia a disminuir el ancho de la faja de recubrimiento del sensor y el tamaño del formato del registro. (60x60 Km)

El avance tecnológico alcanzado en percepción remota, muestra que la nueva tecnología aeroespacial, va afectando y modificando los métodos en la investigación de los recursos terrestres. Ello significa, que los paises con menor desarrollo tecnológico, deben conocer los principios básicos de estas nuevas técnicas, con el propósito de no constituirse en simples receptores de una tecnología diseñada para los paises desarrollados, sino tratar de adaptarlas y modificarlas de acuerdo a los requerimientos nacionales y regionales de una nación. En el momento actual, es evidente, que los paises con menor desarrollo tecnológico, carecen de personal profesional calificado, para hacer uso correcto de esta nueva tecnología; especialmente con relación a la información que suministran los nuevos sistemas de sensores instalados en satélites y aviones, que permite captar otra visión del ambiente, de la interacción entre el hombre y el medio ambiente, de la explotación racional de los recursos terrestres, y en especial en la conservación de los recursos naturales.

Por esta razón, la educación y el entrenamiento de profesionales en percepción remota, es una decisión importante para las naciones con menor desarrollo tecnológico, especialmente para cumplir con dos propósitos básicos:

a) Conocer los beneficios y ventajas que estas técnicas, pueden ofrecer en la investigación de los recursos naturales de una región y adecuarlos a los propios objetivos que cada nación tiene en la investigación de sus recursos naturales.

b) Conocer las desventajas, costos y limitaciones que puedan tener estas técnicas. Ello previene o evita, que los paises de menor desarrollo tecnológico, que en cierto modo, son los paises consumidores de esta tecnología, sepan elegir los equipos que realmente sean imprescindibles para sus investigaciones y no adquieran equipos demasiado costosos y sofisticados que a la larga se constituyen en una carga, debido al costo de mantenimiento que es enorme, y que probablemente no sean necesarios para los fines requeridos.

El campo de la aplicación de los satélites para la investigación de los recursos terrestres ha crecido substancialmente. Sin embargo ello es solo un aspecto de la aplicación de esta técnica. Los profesionales especialistas en el estudio e investigaciones de recursos terrestres, comparten su interés en esta tecnología con fotogrametristas, quienes preparan y actualizan los mapas topográficos;con geodestas y geofísicos que requieren información para realizar medidas de la forma de nuestro planeta y con los astrónomos que exploran nuestro sistema planetario y el universo

1.2.3 **Definiciones.-.** Luego de la relación de los principales acontecimientos, que han dado lugar a tan rápida evolución de esta técnica, es posible establecer las diferencias y los conceptos precisos de los términos que en algunos casos son mal interpretados, provocando confusiones en el uso de los mismos.

Las definiciones y conceptos de los términos: PERCEPCION REMOTA,TELEDETECCION, FOTOINTERPRETACION y FOTOGEOLOGIA, son las siguientes:

- **PERCEPCION REMOTA es la ciencia y arte de obtener información de objetos, de un área o fenómenos, a través del análisis de datos, adquiridos por instrumentos que no se hallan en contacto directo con el objeto, área o fenómeno investigado.**

Esta es una de las definiciones más generalizada, la cual puede ser ligeramente modificada en un sentido más específico, cuando se refiere a observaciones de la superficie terrestre y cuerpos de agua,utilizando en este caso energía electromagnética reflejada o emitida, que además se caracteriza por tener la capacidad de registrar los datos y convertirlos en imágenes. Esta definición excluye las aplicaciones relacionadas con investigaciones de cuerpos remotos, como la superficie lunar, de los planetas o fenómenos galácticos o estelares. Al considerar, solo el uso de radiaciones electromagnéticas, para el registro de imágenes, se está excluyendo en este concepto, los levantamientos geofísicos (Gravimétricos, magnéticos, eléctricos, etc).

En diciembre de 1986, en la 95 ava sesión plenaria, la Asamblea General de Naciones Unidas, aprueba la Resolución No - 41/65 que establece las bases legales, en las cuales se consideran las implicaciones legales, que encierra el uso de la percepción remota de la Tierra desde el espacio, con el propósito de formular los principios básicos sobre los que descansa la percepción remota. El texto de esta resolución se basa en los documentos preparados por el "Comité sobre el Uso Pacífico del Espacio Exterior" de la ONU y discutido en la reunión UNISPACE - 82, realizada en Viena en 1982.

En esta resolución denominada "Principios Relacionados con la Percepción Remota de la Tierra desde el Espacio" en el articulado correspondiente al Principio 1, se define el término percepción remota de la siguiente manera:

> **Percepción Remota significa sensar la superficie terrestre desde el espacio, haciendo uso de las propiedades de las ondas electromagnéticas emitidas, reflejadas o difractadas por los objetos sensados, con el propósito de mejorar la administración de los recursos naturales, uso de la tierra y la protección del ambiente.**

Por los propósitos de esta texto, se presentan en el Anexo I varias definiciones de este concepto, de acuerdo a diferentes investigadores.

El término TELEDETECCION es un sinónimo de percepción remota, que en paises como Francia y algunos de habla castellana tienen mayor aplicación, or que en esos idiomas, dicho término es más adecuado con la definición de esta técnica. Por lo tanto no existe en absoluto, ninguna diferencia en ambos términos, siendo indiferente el uso de cualquiera de ellos.

De acuerdo a la definición dada, uha de las formas iniciales y tal vez, aún la más eficiente de la percepción remota especialmente en Geología y Geomorfología, es la fotografía aérea, mediante cuya interpretación resulta factible definir las características de un objeto, región o área determinada. Por lo tanto, la interpretación de fotos aéreas, para obtener información de ellas, es también parte de la percepción remota, y a la cual se la ha denominado FOTOINTERPRETACION.

FOTOINTERPRETACION. La Sociedad Americana de Fotogrametría la define: Como la técnica de examinar fotografías aéreas con el propósito de identificar objetos y juzgar su significado.

Al aplicar las fotografías aéreas, para realizar diferentes tipos de investigaciones, en especial en los campos de Geología, Suelos, Agricultura, Forestación, Ingeniería Civil, Arqueología, etc. la Fotointerpretación se va subdividiendo en especialidades, y así se puede hablar de FOTOGEOLOGIA, FOTOINTERPRETACION DE SUELOS, FOTOGEOMORFOLOGIA, FOTOINTERPRETACION FORESTAL, etc. por lo tanto la FOTOGEOLOGIA, tema central de esta texto puede ser definido de la siguiente manera:

FOTOGEOLOGIA es aquella parte de la Fotointerpretación, que utiliza las fotografías aéreas, para obtener información geológica, en especial aquella relacionada, con los rasgos estructurales, características litológicas y morfológicas de una determinada zona.

Cuando se realiza el mismo tipo de interpretación utilizando imágenes, que no son el resultado de un sistema fotográfico, no corresponde hablar de Fotointerpretación sino de INTERPRETACION DE IMAGENES, aunque la sistemática y metodología para realizar este trabajo sea similar a la de la Fotointerpretación. El cuadro 1.10 trata de precisar estos conceptos.

ANEXO I
DEFINICIONES DE PERCEPCION REMOTA

- Percepción Remota es la obtención de datos sobre objetos o materiales, ubicados en la superficie de la tierra o en su atmósfera, utilizando para ello sensores remotos, que operan con longitudes de onda,que van desde el espectro visible (0.4 μ m) hasta las microondas (25 cm), instalados sobre plataformas, ubicadas a distancia del objetivo. (Short, 1982)

- Percepción Remota es todo proceso cualitativo o cuantitativo, en el que el aparato de medida o sensor, no está en contacto directo con el objeto en estudio. (R. Tessier y A. Alouges)

- Percepción Remota en el sentido más amplio, simplemente significa "Reconocimiento a distancia" (Colwell, 1966)

- Percepción Remota es el término que corrientemente utilizan los científicos, para el estudio de objetos remotos (superficies planetarias, lunares, terrestre, atmosferas, fenómenos estelares y galácticos, etc.) desde distancias muy grandes. De una manera general, la percepción remota, incluye todos aquellos aspectos relacionados con: El uso de modernos sensores,equipo de procesamiento de datos, teoria de la información y metodología del procesamiento, teoria de las comunicaciónes y diseños de vehiculos espaciales y aereos, teoria de los sistemas y prácticas para realizar levantamientos de la superficie terrestre desde el espacio.(Academia Nacional de Ciencias de EEUU,1970).

- Percepción Remota es el conjunto de técnicas para obtener información sobre la corteza terrestre y sus recursos naturales, mediante ciertos instrumentos denominados sensores, localizados a distancia de los objetos y que pueden ser llevados en aviones, naves espaciales o satélites. La información lograda con estas técnicas, se presenta a veces en forma de fotografias o imágenes, cuya correcta interpretación es un valioso auxiliar en el conocimiento y planeamiento de la explotación racional de los recursos naturales en beneficio de las grandes masas de población. (Castillo Tejero, 1970).

- Percepción Remota aunque no está precisamente definida, incluye todos los métodos para obtener fotografias y otras formas de registros electromagnéticos de la superficie de la tierra a distancia, el tratamiento y procesamiento de datos. En el sentido más amplio, la percepción remota se ocupa de la detección y registro de la radiación electromagnética de los objetos, que se hallan en el campo de vista del sensor. Esta radiación, puede originarse directamente de los componentes separados de los objetos, que puede provenir de la energia solar reflejada por los objetos, o ser el reflejo de la energía transmitida al objeto desde el propio sensor. (White,1977)

- Percepción Remota puede ser definido de um modo general,como la colección de información de un objeto sin estar en contacto fisico con dicho objeto. El término percepción remota está restringido a los métodos que emplean energía electromagnética como un medio para detectar y medir las caracteristicas de un objeto. (F. Sabings. Jr. 1975)

- Percepción Remota es un término utilizado para significar la obtención de información acerca de objetos o fenómenos en nuestro ambiente mediante el uso de sensores ubicados en posiciones remotas del objeto investigado. Esta información es derivada de datos obtenidos mediante la medición de radiaciones electromagnéticas por cámaras aereas, cámaras de televisión, aparatos de detección de infrarojo, receptores de radar y radiofrecuencia instalados en aviones y satélites. (Willow Run Laboratories - Universidad de Michigan - EEUU - 1968).

ANEXO 2
HECHOS SOBRESALIENTES EN EL DESARROLLO DE LA PERCEPCION REMOTA

1839 Daguerre, Niepce, y Fox Talbot son los pioneros en el desarrollo de los procesos fotográficos.
1859 Primera fotografía tomada por F. Tournachon,desde un globo aerostático.(Altura aprox. 80 mts).
1909 Primera fotografía tomada por W. Wright, desde un aeroplano.
1914 - 1918 Primer Guerra Mundial - Reconocimiento aéreo
1915 Primera cámara fotográmetrica. Diseñada por el Tte Cnl. J. Brabazon de la RAF. Gran Bretaña.
1920 - 1930 Desarrollo de las primeras aplicaciones de la fotografía aerea y la fotogrametría.
1930 Primera película a color
1935 - 1940 Primeros experimentos con Radar en Alemania, Gran Bretaña y Estados Unidos.
1938 - 1945 Segunda Guerra Mundial - Desarrollo de cámaras fotogramétricas, películas fotográficas.(infrarrojo blanco y negro e infrarojo color). Máximo desarrollo en Fotointerpretación Militar.
1940 - 1950 Primeras investigaciones en la región del espectro invisible (Infrarrojo termal y microondas).
1950 - 1960 Desarrollo de sistemas de Radar Aéreo de Vista Lateral y Radar de Apertura Sintética.
1951 Creación del ITC, Primer instituto para entrenamiento en el uso de fotografías aéreas, dispuesto por el gobierno de Holanda, con sede en Delft - Holanda.
1956 Colwell, realiza primeros experimentos con fotografía infrarroja para estudios de la vegetación.
1957 Lanzamiento del primer satélite por Rusia (Sputnik)
1959 Primera transmisión de una foto espacial desde un satélite. (Explorer - EEUU)
1960 Empieza la observación orbital espacial.(TIROS I - EEUU)
1961 Primera fotografia espacial orbital a color. (Mercurio)
1962 Investigadores del Willow Run Laboratories, proponen el uso del término Percepción Remota.
1972 Primer satélite de aplicación en la investigación de los recursos terrestres (ERTS- 1) más tarde renombrado LANDSAT. (Altura de vuelo 900 Km.)
1970 - 1980 Rápido desarrollo en procesamiento digital de imágenes de satélite.
1973 - 1985 Se pone en órbita una serie de satélites para observaciones de la Tierra (LANDSAT-SKYLAB-SEASAT0,HCMM-SALYUT-SOYUS-COSMOS-METEOR, etc.
1981 Primer lanzamiento de una nave transbordadora espacial (STS-2 - COLUMBIA)
1982 - 1988 Lanzamiento de varias naves transbordadoras, en las que se instalan diferentes sensores remotos, para estudios de la Tierra. (Alturas aprox. de vuelo : 250 - 350 Km.)
1986 Lanzamiento del Primer Satélite Frances, para realizar estudios de los recursos terrestres (SPOT)
1988 Primer lanzamiento de la nave tranbordadora rusa (BURANE)

C U A D R O 1.1

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SATELITES
UTILIZADOS EN PERCEPCION REMOTA

NOMBRE DEL SATELITE	PAIS	FECHA DE LANZA-MIENTO	FECHA DE CESE DE OPERA-CION	TIPO DE SENSOR	No. DE BAN-DAS	REGION DEL ESPECTRO ELECTRO-MAGNETICO	RESO-LUCION DEL TERRE-NO mts	ANCHO FAJA DE RECU-BRI-MIENTO Km	CARACTERISTICAS ORBITALES		
									Altura Orbita Km.	Orbi-tas por día	Repe-tición ciclo c/días
BARREDORES.-											
1er GENERACION											
Landsat 1	EEUU	23/07/72	06/01/78	RBV	3	EV-IRR *	80	185	900	14	c/18
				MSS	4	EV-IRR	80				
Landsat 2	EEUU	22/01/75	27/07/83	RBV	3	EV-IRR	80	185	900	14	c/18
				MSS	4	EV-IRR	80				
Landsat 3	EEUU	05/03/78	07/09/83	RBV	1P*	EV-IRR	40	185	900	14	c/18
				MSS	5	EV-IRR-IRT	80				
						IRT *	240+				
2da GENERACION											
Landsat 4	EEUU	16/07/82		MSS	4	EV-IRR	82	185	705	14.5	c/16
				TM	7	EV-IRR-IRT	30				
						IRT	120++				
Landsat 5	EEUU	01/03/84		MSS	4	EV-IRR	82	185	705	14.5	c/16
				TM	7	EV-IRR	30				
						IRT	120++				
HCMM	EEUU	26/04/78	30/09/80	HCMM	2	EV-IRR	500+	700	600	1/2	16*
						IRT	600+				
Meteor	URSS	1980		Fragment	8	EV-IRR	80				
				MSU-E	3	EV-IRR	30				
				MSU-SK	4	EV-IRR	120				
Transbordador (STS-7)	EEUU AlemOc.	--/06/83		MOMS 01	2	EV-IRR	20		300		
Transbordador (STS 11-41B)	EEUU AlemOc.	05/02/84	12/02/84	MOMS 01A	2	EV-IRR	20		300		
Cosmos 1689	URSS	1985		MSU-SK	4	EV-IRR	170	600			
				MSU-S	2	EV-IRR	240	1400			
				Fragment	8	EV-IRR	80	85			
				MSU-M	4	EV-IRR	1000	2000			
				MSU-G	3	EV-IRR	30	30			
SPOT 1	Francia	21/02/86		HRV* Ester.Optico	2*	EV-IRR	P-10+ M-20+	60+	832	26+	variable
SPOT 2	Francia	21/1/90		HRV* Ester.Optico	2*	EV-IRR	P-10+ M-20+	60+	832		variable

NOMBRE DEL SATELITE	PAIS	FECHA DE LANZA-MIENTO	FECHA DE CESE DE OPERA-CION	TIPO DE SENSOR	No. DE BAN-DAS	REGION DEL ESPECTRO ELECTRO-MAGNETICO	RESO-LUCION DEL TERRE-NO mts	ANCHO FAJA DE RECU-BRI-MIENTO Km	CARACTERISTICAS ORBITALES		
									Altura Orbita Km.	Orbi-tas por día	Repe-tición ciclo c/días
CAMARAS.-											
Skylab	EEUU	14/05/73	08/02/74	ETC	1	EV-IRR	15-30	109			
				CM.S-190A	6	EV-IRR	60-145	163			
				MSS-S 192	13	EV-IRR-IRT	79	72.4			
				Radscat	3	Microondas					
Salyut	URSS	1975		KATE	1	EV-IRR	50				
Salyut-Soyuz	URSS y RDA	1976		MKF-6	6	EV-IRR	20				
Salyut 7	URSS	--/07/82		MKF-6	1	EV-IRR	15		350		
				KATE-140	6	EV-IRR	50				
Spacelab STS-9 Columbia	EEUU-ESA	28/11/83	--/12/83	Zeiss RMK -A30/23		EV-IRR	20	190	250		
				MRSE		Microondas					
RADAR.-											
Seasat	EEUU	25/06/78	10/10/78	SAR	1	Microondas*	25	100	800	14	
				ALT							
				SMMR			100 Km	600			
				SASS			50 Km.				
SIR (A) STS-2 Columbia	EEUU	12/11/81	14/11/81	SIR (A)	1	Microondas*	40	50	259		
SIR (B)	EEUU	--/10/84	--/10/84	SIR (B)	1	Microondas*	25	40	225		
(STS - 17) Challenger				LFC	4	EV-IRR	15				
IRIS 1A	India	1986		LISS	2	EV-IRR	73	148			
							27	147			

*REFERENCIAS.-

EV* .- Espectro Visible IRR*.- Infrarrojo Reflectivo IRT*.- Infrarrojo Termal

1P* .- Modo Pancromático Microondas*.- Banda L Polarización HH

HRV*.- Opera en dos modos: Pancromático y Multiespectral

240+ .- Resolución solo para Banda MSS 8 (IRT) 120+ .- Resolución solo para la Banda 6 (IRT) del TM

500+ .- Resolución para Bandas del EV e IRR 600+.- Resolución para Banda del IRT

2* .- En este caso particular se refiere a los 2 modos en que opera el sensor HRV :

Modo Pancromático = 1 Banda y el Modo Multiespectral = 3 Bandas

P-10+.- Resolución para el Modo Pancromático M-20+ .- Resolución para el Modo Multiespectral

60+ .- Varia de acuerdo al modo de observación 26+ .- Varia de acuerdo al modo de observación

ESA .- Agencia Espacial Europea

LEYENDA ABREVIACIONES DE LOS TIPOS DE SENSORES

ALT	.- Radar Altímetro
CM.S-90A	.- Cámara Multiespectral
ETC	.- Earth-Terrain Cámara
HCMM	.- Radiómetro para mapeo de la capacidad Termal
HRV	.- Visible de Alta Resolución
KATE	.- Cámara para mapeo
LFC	.- Cámara de Formato Grande
MKF-6	.- Cámara Multibanda
MOMS	.- Barredor Multiespectral Opto-Electrónico
MRSE	.- Sensor experimental de Microondas
MSS	.- Barredor Multiespectral
MSS-S192	.- Barredor Multiespectral
MSU-E	.- Instrumento Barredor de estado-sólido (análogo al sensor de SPOT)
MSU-SK	.- Barredor multiespectral óptico - mecánico
RADSCAT	.- Radiometro de Microondas Pasivo - Escaterometro - Radar Altimetro
RBV	.- Cámaras Vidicon de Haz de Retorno (Sistema Televisión)
RMK-A30 (Zeiss)	.- Cámara Métrica para mapeo topográfico y ortofotos
SAR	.- Radar de Apertura Sintética
SASS	.- Escaterómetro
SIR	.- Radar de Apertura Sintética
SMMR	.- Radiómetro Barredor Multiespectral de Microondas
SPOT	.- Sistema de Prueba para la Observación de la Tierra
TM	.- Mapeador Temático

C U A D R O 1.2

CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS FUTURAS MISIONES DE SATELITES DE PERCEPCION REMOTA APLICADOS AL ESTUDIO DE LOS RECURSOS TERRESTRES PROGRAMADOS PARA LOS AÑOS

1991 - 1996

NOMBRE DEL SATELITE	PAIS	FECHA PROGRAMADA DEL LANZAMIENTO	TIPO DE SENSOR	NUMERO DE BANDAS	REGION DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO	RESOLUCION DEL TERRENO mts	ANCHO FAJA DE RECUBRIMIENTO Km	ALTUR ORBITA Km.
LANDSAT 6	EEUU	1991	(MRS) ETM	8	Visible	15	185	705
(Omnistar)			(MRS) EMSS	4	EV-IRR-SWIR	30	185	
			Optico		IRT	120	185	
LANDSAT 7	EEUU	1996	ETM	8	Visible	15	185	
			MSS		EV-IRR-SWIR	30	185	
					IRT	120	185	
			MLA (ALS)	32	EV-IRR	10	41/635	
			(Opción)		SWIR	20	41/635	
SPOT 3	Francia	1994	HRV	3	EV-IRR	20	120	800
			Ster. Opt.	1	EV-IRR	10	120	
SPACELAB	ESA-Alemania Oc.		Cámara Metrica	2	EV-IRR (Color - B y N	5		
ALS	ESA	1994/95	SAR	1-Banda C	Microonda	30	100	
			MSS	5	EV-IRR	30	100	
JERS 1	Japón	1991	SAR	1-Banda L	Microonda	18	75	
			MSS	4	EV-IRR	20	75	568
			SWIR	3 - 4	IRT	18	75	
JERS 2	Japón	1998	Optico				60	705
TERS	Holanda-Indonesia	1990	MSS	3	EV-IRR	20	100	
				1	EV-IRR	10	100	
IRS 1B,C	India	1988/1990	LISS	4	EV-IRR	36	148	904
IRS 2	India	1992/1994	LISS		EV-IRR			

NOMBRE DEL SATELITE	PAIS	FECHA PROGRA-MADA DEL LAN-ZAMIENTO	TIPO DE SENSOR	NUMERO DE BANDAS	REGION DEL ESPECTRO ELECTROMAG-NETICO	RESO-LUCION DEL TERREN mts	ANCHO FAJA DE RECU-BRI-MIENTO Km	ALTUR ORBITA Km.
BRASSEX (MECB)	Brasil	1990/93	Cámara Mul-tiespectral		EV-IRR			650
RADARSAT	Canada	1991	SAR	1-Banda C	Microondas	28	130	1000
			MSS	4	Visible	30	400	
			Radiómetro	2	EV-IRR	1300	3000	
Satelite de Re-cursos terrestres	China	1988/99	Cámara Mul-tiespectral					400
ERS-1	ESA	1990	AMI/SAR	1-Banda C	Microondas	30	75	780
			Radar Alti-metro					
			ATSR					
			PRARE					
EOS Polar	USA		SAR	2-Bds L-C	Microondas	25	200	
Orbiter			ALS	64-128	EV - IRR	7	41/635	
			Otros		SWIR	14	41/635	

ALS .- Sensores avanzados del Landsat (Advanced Landsat Sensor)
AMI .- Instrumentación de Microonda Activa
(Active Microwave Instrumentation)
ATSR .- Radiómetro Infrarojo
EMSS .- Barredor Multiespectral Emulado (Emulated MSS)
EOS .- Satélite de Observación de la Tierra (Earth Observation Satellite)
ESA .- Agencia Espacial Europea
ETM .- Mapeador Temático Mejorado (Enhanced Thematic Mapper)
EV-IRR .- Espectro Visible e Infrarojo Reflectivo o Cercano
HVR .- Visible de Alta Resolución
IRS .- Satélite de Recursos de la India
IRT .- Infrarojo Termal
JERS .- Satélite Japonés de Recursos Terrestres
MECB .- Misión Espacial Completa Brasilera
MRS .- Muestreador Multiespectral de Recursos
MSS .- Barredor Multiespectral
PRARE .- Equipo de Telemetría y de Velocimetría de Precisión
SAR .- Radar de Apertura Sintética
SPOT .- Sistema de Prueba para la Observación de la Tierra
SWIR .- Infrarojo de Longitud de Onda Corta (Short Wave Infrared)
(Equivalente a la Banda 5 del sensor TM del Landsat 4 y 5
TERS .- Satélite Tropical de Recursos Terrestres
(Tropical Earth Resources Satellite)
TM .- Mapeador Temático

C U A D R O 1.3

CARACTERISTICAS DE LOS SENSORES INSTALADOS

EN LOS SATELITES " LANDSAT 1 - 2 y 3

NOMBRE DEL SATELITE	TIPO DE SEN-SOR	No DE BANDA	RESO-LUCION mts	RANGO DE SENSIBILIDAD Longitud Onda (Micrómetros)	REGION DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO
Landsat 1 - 2	RBV	1	80	0.47 - 0.57	Espectro Visible (Azul - Verde)
Landsat 1 - 2	RBV	2	80	0.58 - 0.68	Espectro Visible (Amarillo - Rojo)
Landsat 1 - 2	RBV	3	80	0.69 - 0.83	Infrarojo Cercano (Reflectivo)
Landsat 3	RBV*	-	40	0.50 - 0.75	Espectro Visible Modo Pancromático
Landsat 1 - 2 y 3	MSS	4	80	0.50 - 0.60	Espectro Visible (Verde)
Landsat 1 - 2 y 3	MSS	5	80	0.60 - 0.70	Espectro Visible (Rojo)
Landsat 1 - 2 y 3	MSS	6	80	0.70 - 0.80	Infrarojo Cercano (Reflectivo)
Landsat 1 - 2 y 3	MSS	7	80	0.80 - 1.1	Infrarojo Cercano (Reflectivo)
Landsat 3	MSS	8	240	10.4 - 12.6	Infrarojo Lejano (Termal)

RBV* = Retorno de rayos Videcon (TV) MSS* = Barredor Multiespectral

C U A D R O 1.4

CARACTERISTICAS DE LOS SENSORES INSTALADOS

EN LOS SATELITES "LANDSAT 4 y 5"

TIPO SENSOR	No DE BAND	RESOLUCION mts	RANGO SENSIBILIDAD LONGITUD ONDA Micrómetros	REGION DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO	APLICACIONES
TM*	1	30	0.45 - 0.52	Espectro Visible (Azul)	Diferenciación del suelo y vegetación,de vegetación decidua y coníferas.Máxima penetración del agua. Batimetria aguas superficiales.
TM	2	30	0.52 - 0.60	Espectro Visible (Verde)	Estudios del vigor de la vegetación.Equivalente al Sistema MSS 4.
TM	3	30	0.63 - 0.69	Espectro Visible (Rojo)	Banda más importante para diferenciar tipos de vegetación.Enfatiza contrastes de la vegetación y otros rasgos.Equivale al Sistema MSS 5
TM	4	30	0.76 - 0.90	Infrarrojo Cercano (Reflectivo)	Delineación de cuerpos de agua.Acentua contrastes entre agua y tierra. Equivale al MSS 6 y 7.
TM	5	30	1.55 - 1.75	Infrarrojo Cercano (Reflectivo)	Buen contraste entre tipos de vegetación.Estimación de la humedad en la vegetación. Diferenciación entre nubes y nieve.
TM	6	120	10.4 - 12.5	Infrarrojo Lejano (Termal)	Mapeo Hidrotermal.Clasificación vegetación.Estimación de la humedad del suelo.
TM	7	30	2.08 - 2.35	Infrarrojo Medio	Mapeo Geológico.Diferenciación tipos de roca. La combinación de las bandas 5 y 7,útil para mapeo de rocas alteradas hidrotermalmente asociada a Depósitos Minerales.
MSS*	1*	82	0.50 - 0.60	Espectro Visible (Verde)	++ Capacidad para penetrar el agua y determinar turbidez en cuerpos de agua.Distingue Vegetación de otros materiales.Identificación de estructuras geológicas.
MSS	2	82	0.60 - 0.70	Espectro Visible (Rojo)	++ Mejor identificación de rasgos topográficos y culturales del terreno.Clasificación de tipos de vegetación.
MSS	3	82	0.70 - 0.80	Infrarrojo Cercano (Reflectivo)	++ Identifica diferencias en el Uso Actual de la Tierra.Estimación de la Biomasa en la Vegetación.
MSS	4	82	0.80 - 1.1	Infrarrojo Cercano (Reflectivo)	++ Delineación de cuerpos de agua.Diferenciación de la vegetación y suelos.Mayor contraste entre rocas. Estudios del drenaje superficial.

MSS* = Barredor Multiespectral TM* =Mapeador Temático

1*++ = Aunque la numeración de estas bandas es diferente a la utilizada en el anterior sistema MSS del Landsar 1-2 y 3, los rangos de sensibilidad y aplicaciones son los mismos. (Ver Cuadro 1.3)

CUADRO 1.5

CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES SENSORES

INSTALADOS EN LA NAVE ESPACIAL "SKYLAB"

SENSOR (EREP*)	BANDAS NUMERO	RANGO SENSIBILIDAD (Micrómetros)	REGION ESPECTRO ELECTROMAGNETICO	RESOLUCION TERRENO (Km)
MSS-S 192	1	0.41 - 0.46	VISIBLE	
	2	O.46 - 0.51	VISIBLE	
	3	0.52 - 0.56	VISIBLE	
	4	0.56 - 0.61	VISIBLE	
	5	0.62 - O.67	VISIBLE	
	6	O.68 - 0.76	IRR*	
	7	0.78 - 0.88	IRR	
	8	0.98 - 1.08	IRR	
	9	1.09 - 1.19	IRR	
	10	1.20 - 1.30	IRR	
	11	1.55 - 1.75	IRR	
	12	2.10 - 2.35	IRR	
	13	10.2 - 12.5	IRT*	
CAMARAS MULTI	1	0.7 - 0.8	IRR-B y N	145
ESPECTRALES	2	0.8 - 0.9	IRR-B y N	145
(S-190A)	3	0.5 - 0.9	IRR-COLOR	145
(seis)	4	0.4 - 0.7	COLOR	85
	5	0.6 - 0.7	B Y N*	60
	6	0.5 - 0.6	B Y N	60
ETC-S 190B	1	0.4 - 0.88	IRR-B y N	
Radscat*	1	Ke -(2.2 cm)	Microondas*	

REFERENCIAS.-

EREP* .- Earth Resources Experiment Package - Paquete Experimental para Recursos Naturales (Se halla constituido por 6 sensores)

ETC* .- Earth Terrain Camara

Radscat* .- Radiometro microondas pasivo- Escaterometro activo - Radar Altimetro

MSS-S 192.- Barredor Multiespectral

IRR* .- Infrarrojo Reflectivo (Cercano)

IRT* .- Infrarrojo Termal

B y N* .- Pelicula Blanco y Negro

CUADRO 1.6

CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES SENSORES INSTALADOS EN EL SATELITE "SEASAT"

SENSOR	NUMERO DE BANDAS	RANGO SENSI-BILIDAD	REGION ESPECTRO ELECTRO-AGNETIC	RESOLUCION TERRENO
SAR (Radar de apertura sintética)	1 Banda L	23.5 cm.	Microondas (Radar)	25 mts.
SMMR (Radiómetro Multies-pectral de Barrido)	5	4.5 cm 2.8 cm 1.7 cm 1.4 cm 0.8 cm	Microondas Microondas Microondas Microondas Microondas	79x121 km 49X74 km 29x44 km 25x38 km 14x21 km
Radiómetro de dos Bandas	2	0.52- 0.73 m 10.5 - 12.5 m	EV - IRR* IR Termal*	3 km 5 km
SAS (Escaterómetro)	1	14.599 GHz	Microondas	1.6 km
ALT (Radar Altímetro)	1	13.499 GHz	Microondas	280 km En el Nadir

CUADRO 1.7

CARACTERISTICAS DE LOS SENSORES "SIR - A" Y "SIR - B" INSTALADOS EN LAS NAVES ESPACIALES TRANSBORDADORAS "COLUMBIA "CHALLENGER"

SENSOR	NOMBRE BANDAS	RANGO SENSI-BILIDAD (Centímetros)	REGION ESPECTRO ELECTRO-AGNETIC	RESOLUCION TERRENO (metros)
SIR - A*	L	23.5	Microondas	30 - 40
SIR - B*	L	23.5	Microondas	25

REFERENCIAS.- IR TERMAL*.- Infrarrojo Termal
EV - IRR .- Espectro Visible e Infrarrojo Reflectivo
SIR - A* - SIR - B* .- Radar de Apertura Sintética

CUADRO 1.8

CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES SENSORES INSTALADOS

EN EL SATELITE "HCMM"

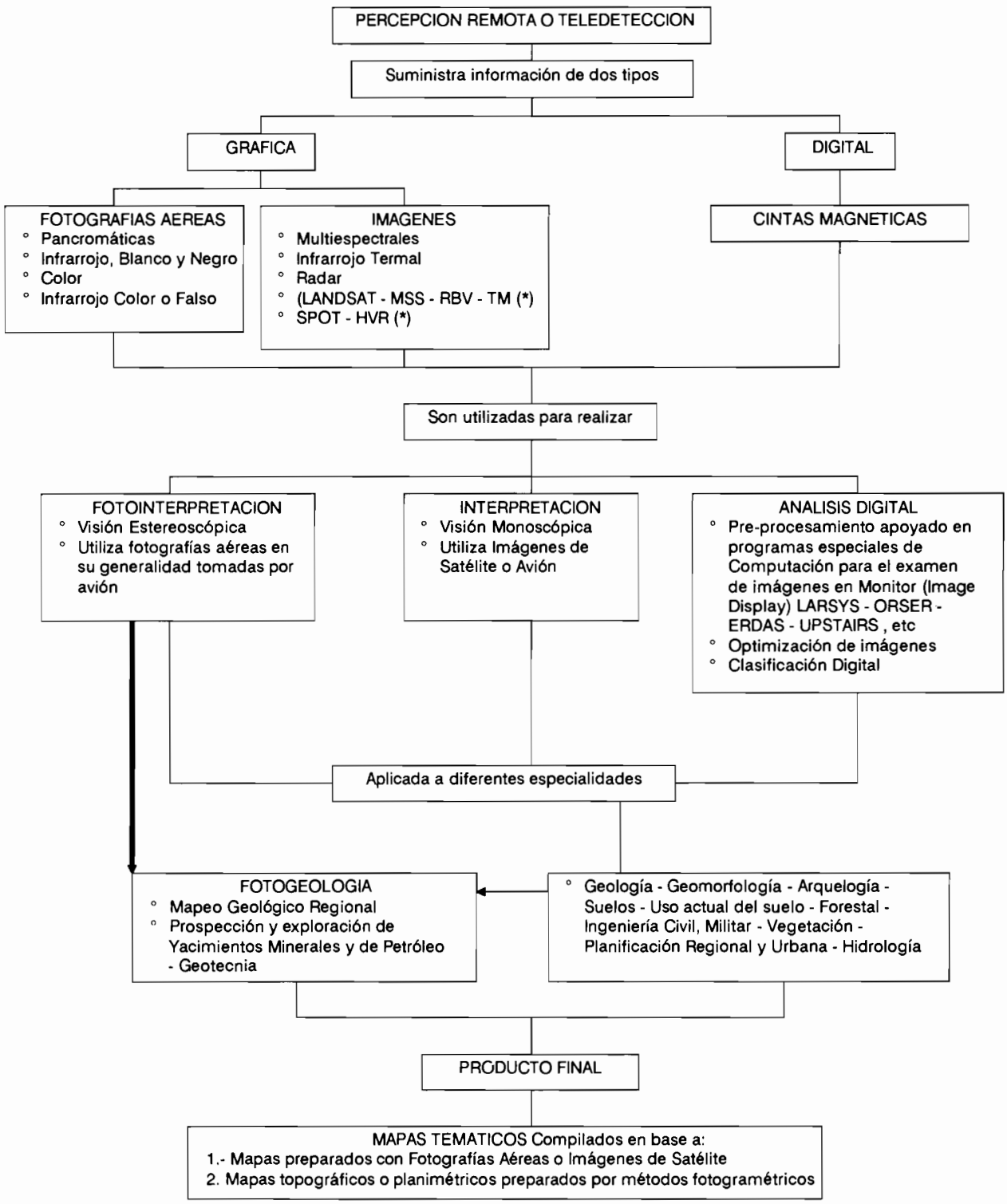
SENSOR	NUMERO DE BANDAS	RANGO SENSI-BILIDAD (Micrómetros)	REGION ESPECTRO ELECTRO-MAGNETICO	RESOLUCIO TERRENO (metros)
HCMR*	1	O.5 - 1.1	EV - IRR*	500
Radiómetro para Ma-peo de la Capacidad Termal	2	10.5 - 12.5	IR TERMAL*	600

CUADRO 1.9

CARACTERISTICAS DEL SATELITE "SPOT"

PAIS	Francia					
FECHA Y LUGAR DEL LANZAMIENTO	21 de Febrero de 1988 - SPOT 1 Centro Espacial de Kourou 21 de Enero de 1990 - SPOT 2 Guayana Francesa					
ALTURA PROMEDIO DE LA ORBITA	832 Km.					
REPETICION DEL CICLO	26 dias					
NOMBRE SENSOR	MODOS	No DE BANDAS	RANGO DE SENSIBILIDAD Longitud de Onda (Micrómetros)	REGION DEL ESPECTRO ELECTRO-MAGNETIC	RESOLU-CION DEL TERRENO (mts)	ANCHO FAJA DE RECUBRI-MIENTO (Km)
HVR (Visible de Alta Resolución)	Pancromático	1	0.51 - 0.73	EV	10	117 (60)
	Multiespectral (XS)	3	0.50 - 0.59 0.61 - 0.69 0.70 - 0.89	EV (Verde) EV (Rojo) IRR	20	117 (60)

CUADRO 1.10



(*) MSS = Multiespectral RBV = Sistema TV TM = Mapeador Temático
HVR = Visible de alta resolución

RADIACION ELECTROMAGNETICA Y EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

CAPITULO II

2.1 INTRODUCCION

La interpretación eficiente de los datos suministrados, por cualquier tipo de sensor remoto, que correspondan tanto al sistema Fotográfico, Infrarrojo Termal o Radar, necesariamente requiere del conocimiento y entendimiento de las propiedades, comportamiento y modificaciones de la radiación electromagnética, cuando interactúa con los objetos y materiales de la superficie terrestre, luego de atravesar la atmósfera y ser reflejada por la superficie terrestre, para su detección y registro.

Este capítulo pretende, dar los principios elementales y propiedades más importantes relacionados con la radiación electromagnética, utilizadas en percepción remota. No es posible desarrollar este tema con la profundidad y las consideraciones matemáticas que los textos especializados lo hacen. Para los fines de este texto, el contenido que presenta este capítulo es suficiente y dan al lector las bases iniciales para poder profundizar las teorías involucradas, pudiendo acudir a literatura más especializada en este campo.

2.2 RADIACION ELECTROMAGNETICA

La radiación electromagnética es una forma dinámica de energía hecha manifiesta solo por su interacción con la materia y se la puede definir como aquella energía que se mueve en el espacio libre a la velocidad de la luz, en forma de ondas que muestran un modelo armónico, la cual posee propiedades tanto eléctricas como magnéticas. (El término armónico se refiere a las características de las ondas, en cuanto a su distribución repetitiva e igualmente espaciada en el tiempo.)

La radiación electromagnética se halla constituida por un campo eléctrico (E), en dirección perpendicular a la dirección de propagación, y un campo magnético (H) orientado perpendicularmente al campo eléctrico y se propaga en fase con el indicado campo. (Fig.2.1)

Todas las formas de radiación electromagnética, incluyendo la LUZ, se comportantanto como ondas y partículas y pueden ser consideradas como energía pura, que generan campos

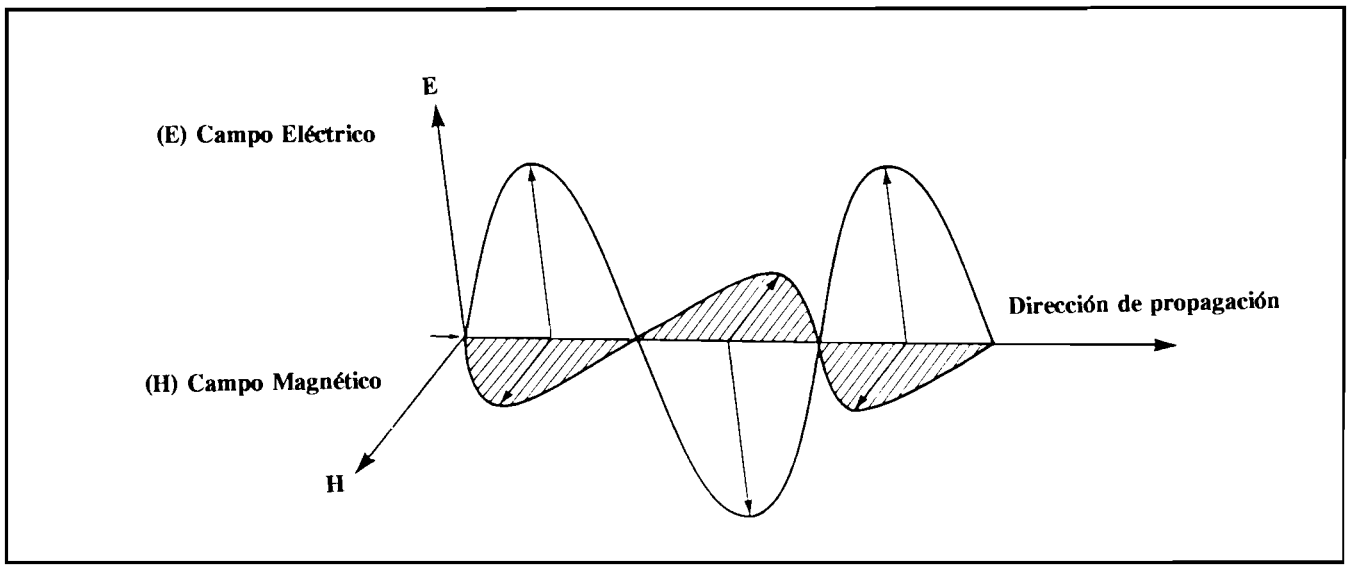


FIGURA 2.1 Componente eléctrico y magnético de la radiación electromagnética

magnéticos y eléctricos ligados, transmitidos en paquetes conocidos como QUANTAS o FOTONES. Esta energía, es solo detectada, cuando ella interactúa con la materia.

El comportamiento ual de las radiaciones, ONDA y PARTICULA, puede ser visualizado, cuando la LUZ se propaga a través de un medio diferente en densidades ópticas, tales como el aire, agua; en ese caso ella puede ser analizada en términos de ONDA.

Por el contrario, cuando la intensidad de la luz es medida con fotómetros, la interacción de los fotones con el fotodetector sensibilizado a la luz, produce una señal eléctrica que varía en potencia proporcionalmente con el número de fotones.

El término fotón es utilizado para enfatizar las propiedades estáticas y cuánticas de la radiación, mientras que el concepto de onda, se utiliza para remarcar los efectos promedios de la radiación.

De acuerdo a lo definido anteriormente y al dejar establecido que la radiación electromagnética es también descrita como un movimiento ondular, es necesario presentar algunos conceptos básicos sobre las características de este tipo de ondas.

Los tipos más simples de ondas son las ONDAS ARMONICAS SIMPLES, que se caracterizan por tener amplitudes que varían con el seno y coseno de su posición y tiempo, por tener una longitud de onda y frecuencia fijas y una velocidad de propagación definida como la cantidad que se mueve una cresta particular de onda.

Las ondas de acuerdo con la dirección de desplazamiento relativo a la dirección de propagación se clasifican en:

ONDAS LONGITUDINALES

ONDAS TRANSVERSALES

Ondas longitudinales.- Se llaman así cuando el desplazamiento o dirección de vibración es paralela a la dirección de propagación. Las ondas sonoras corresponden a este tipo.

Ondas transversales.- Se producen cuando el desplazamiento o dirección de vibración es perpendicular a la dirección de la propagación. Las ondas de radio pertenecen a este tipo de ondas. Las ondas electromagnéticas que viajan en el espacio son puramente transversales, sin embargo si se hallan confinadas entre límites metálicos, ellas pueden ser una mezcla de ondas longitudinales y transversales.

Las ondas transversales pueden tener cualquier número de direcciones de desplazamiento en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Algunas de estas direcciones son elegidas para tomar como base de medida de la dirección de desplazamiento o polarización de la onda.

2.3 PROPIEDADES DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

Las ondas electromagnéticas, se hallan definidas por variaciones periódicas en intensidades de campos eléctricos y magnéticos perpendiculares y debido a estas variaciones, es posible describir la energía electromagnética en términos de frecuencia de onda, longitud de onda, velocidad de propagación, intensidad y polarización.

2.3.1 **Velocidad de propagación.-** Toda onda electromagnética viaja a la misma velocidad. En el vacío la velocidad de propagación tiene el siguiente valor:

$$c = 299.793 \text{ Km} \cdot \text{seg}^{-1}$$

Para propósitos prácticos el valor de la velocidad es:

$$c = 3 \cdot 10^{8} \text{ m} \cdot \text{seg}^{-1}$$

2.3.2. **Longitud de onda.-** Es la distancia que existe entre una posición en un ciclo, a la misma posición en el próximo ciclo. En otras palabras es la distancia entre dos crestas de cualquier onda en cualquier instante de tiempo. (Fig. 2.2)

La unidad de medida utilizada para las longitudes de onda correspondientes a las radiaciones del espectro visible, ultravioleta, e infrarrojo es el MICRON o MICROMETRO, que corresponde a la milésima parte del milímetro. (Cuadro 2.1)

Los especialistas en óptica, utilizan otra unidad para las radiaciones del espectro visible y la denominan NANOMETRO, la razón para ello, es que esta unidad evita el empleo de decimales. Para las longitudes menores a las del ultravioleta, la unidad de medida es el ANGSTRON. (Cuadro 2.1)

Para las longitudes de onda correspondientes a las radiaciones electromagnéticas mayores a las del infrarrojo, en especial las de radio y microondas, se utiliza las unidades que corresponden al sistema métrico decimal. (Cuadro 2.1)

En Percepción Remota es más utilizado el concepto de longitud de onda que el de frecuencia de onda.

CUADRO 2.1

UNIDADES UTILIZADAS EN PERCEPCION REMOTA

UNIDAD	SIMBOLO	EQUIVALENCIA
Kilómetro	Km	1000 m = 10^3 m
Metro	m	1 m = 100 cm
Centímetro	cm	0.01 m = 10^{-2} m
Milímetro	mm	0.001 m = 10^{-3} m
Micrómetro*	μm	0.001 mm = 10^{-3} mm
		0.000001 m = 10^{-6} m
Nanómetro	nm	= 10^{-9} m
Angstron	Å	= 10^{-10} m

* Micrómetro término utilizado en reemplazo de Micrón, por acuerdos de la Conferencia General de Pesas y Medidas.

2.3.3 **Frecuencia de onda.-** Es el número de crestas de onda que pasan por un punto dado en una unidad de tiempo específico y es expresada en ciclos por segundo. Las unidades de medida de frecuencia de onda se hallan en el Cuadro 2.2

La frecuencia de onda tiene la propiedad de mantenerse la misma, aunque la energía propagada lo haga por diferentes medios con densidades diferentes. Este término es más utilizado por los ingenieros electricistas y electrónicos para designar a la energía correspondiente a la del radar y radio.

La relación entre frecuencia de onda y longitud de onda, está dada por la siguiente relación:

$$c = \lambda \cdot v$$

λ = Longitud de onda
v = Frecuencia de onda
c = Velocidad de propagación

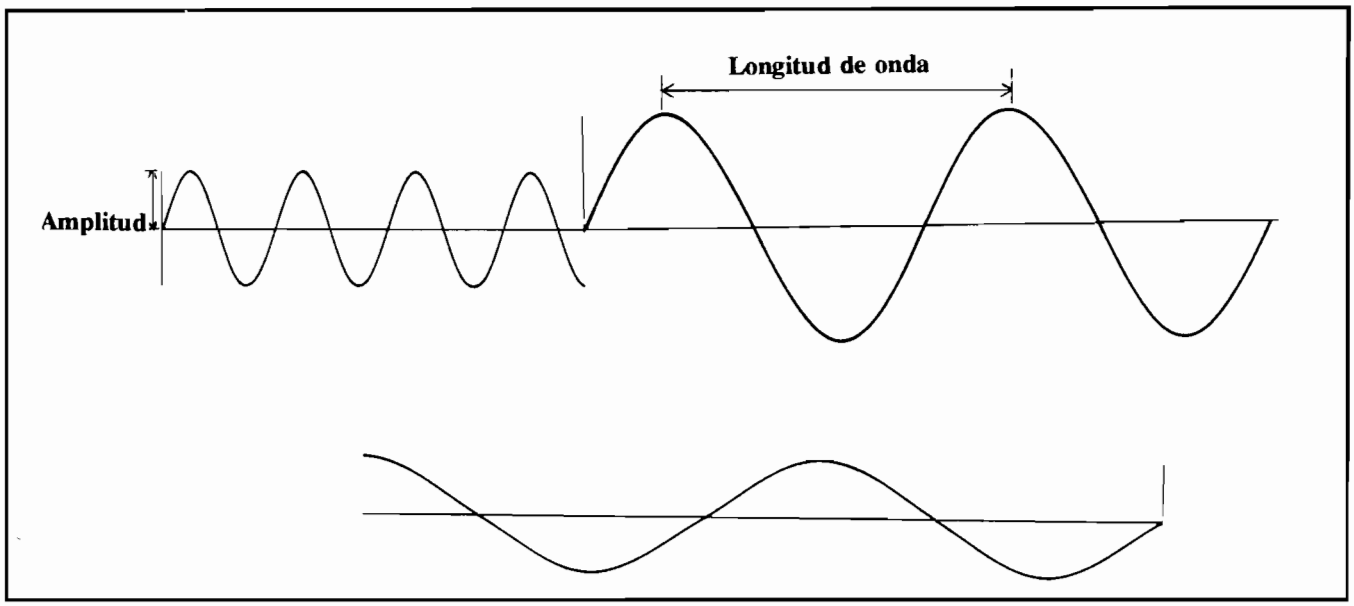
Esta fórmula indica que la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda y directamente proporcional a la velocidad de la onda.

CUADRO 2.2

UNIDADES DE FRECUENCIA UTILIZADAS EN PERCEPCION REMOTA

UNIDAD	SIMBOLO	FRECUENCIA
Hertz	Hz	101
Kilohertz	KHz	103
Megahertz	MHz	106
Gigahertz	GHz	109

(Frecuencia en ciclos por segundo)



FUGURA 2.2 Longitud de onda, amplitud de onda y frecuencia de onda

2.3.4 **Amplitud de onda.-** Es la altura máxima de una onda, que corresponde a la máxima perturbación experimentada durante un ciclo de vibración. Generalmente se mide en términos de niveles de energía, más conocida como irradancia espectral. (Fig. 2.2)

2.3.5 **Polarización.-** Toda radiación electromagnética consiste de campos de fuerza eléctricos y magnéticos íntimamente relacionados. Las direcciones de estos campos de fuerza, son los factores más importantes para determinar la naturaleza de la respuesta o el comportamiento de la materia que intercepta esta radiación.

Ambos campos de fuerza son transversales a la dirección de propagación y se hallan en posiciones perpendiculares entre sí en el espacio libre.

La dirección y magnitud de solo uno de estos campos en un medio dado, es todo lo que se requiere para especificar la dirección y magnitud del otro campo, de manera que solo uno de estos campos es considerado para propósitos analíticos. (Ver Fig. 2.1)

Como se indicó anteriormente las ondas electromagnéticas tienen dos componentes mutuamente perpendiculares formados por los campos eléctricos y magnéticos y cuyas expresiones cuantitativas están dadas por las relaciones de Maxwell. Las ondas componentes son perpendiculares a la velocidad de propagación. Convencionalmente se emplea la componente eléctrica como referencia para determinar los parámetros de la onda.

Comunmente una onda (especialmente en el caso óptico) tiene los vectores eléctricos con una orientación aleatoria o multidireccional, entonces se dice que la onda no está polarizada o que está aleatoriamente polarizada. (Fig.2.3)

Sin embargo, a través de algunos procesos de interacción física es posible orientar un haz de radiación electromagnética de modo que su componente eléctrico oscile en una dirección. (Fig.2.4)

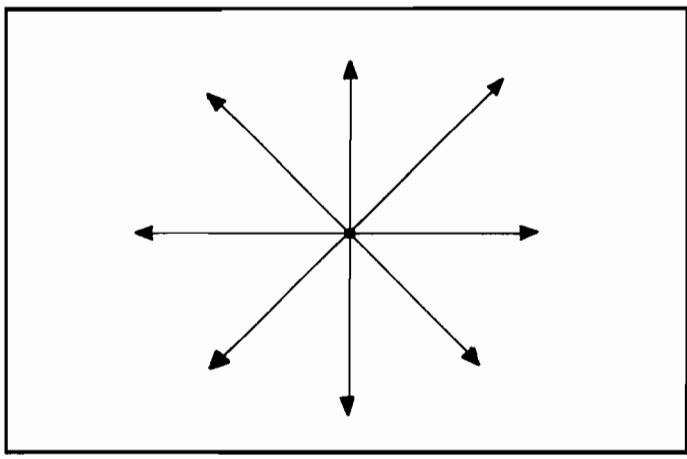


FIGURA 2.3 Polarización multidireccional

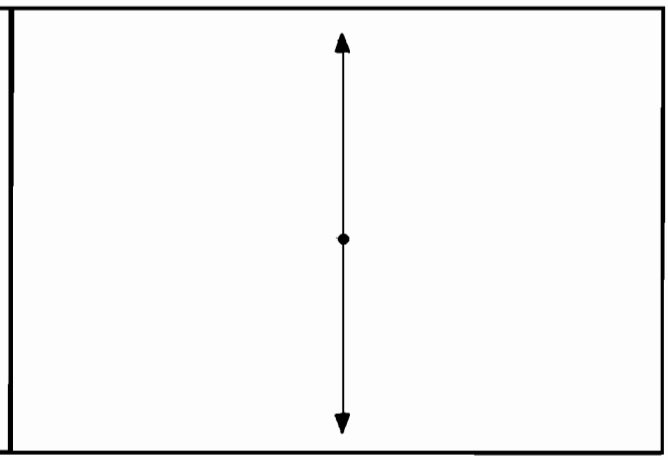


FIGURA 2.4 Polarización en una dirección

Cuando la oscilación del componente eléctrico se realiza en una sola dirección, el plano de polarización de una onda, se define como aquel formado por el vector eléctrico y el vector que define la dirección y velocidad de la onda.

La radiación de algunas fuentes, en su mayoría las de la región espectral no tienen ninguna polarización claramente definida.

Existen numerosas clases de polarización, incluyendo una plana, la cual es importante en percepción remota.

Cuando la dirección de polarización, es paralela a la superficie plana, sobre la cual incide la onda (plano de incidencia) se la denomina POLARIZACION HORIZONTAL. En este caso el vector E de la onda es perpendicular al plano de incidencia formado por el rayo incidente y la perpendicular a la superficie. (Fig.2.5)

Este término es frecuentemente utilizado en la literatura relacionada con microondas (Radar), en el cual el plano de interés es la superficie del terreno, que es considerada como una superficie horizontal.

El plano de polarización que es perpendicular a la dirección polarizada horizontal se llama POLARIZACION VERTICAL. En este caso el vector E (campo eléctrico), se halla contenido en el plano de incidencia. (Fig. 2.6)

En óptica, un plano de referencia diferente es utilizado con más frecuencia. El plano que contiene a la dirección de propagación de la onda incidente y el perpendicular a la superficie de incidencia recibe el nombre de PLANO DE INCIDENCIA.

En ese sentido se puede hablar de dos tipos de polarización:

a) POLARIZACION PARALELA que es la dirección de polarización paralela al plano de incidencia

b) POLARIZACION PERPENDICULAR que es la dirección de polarización perpendicular al plano de incidencia.

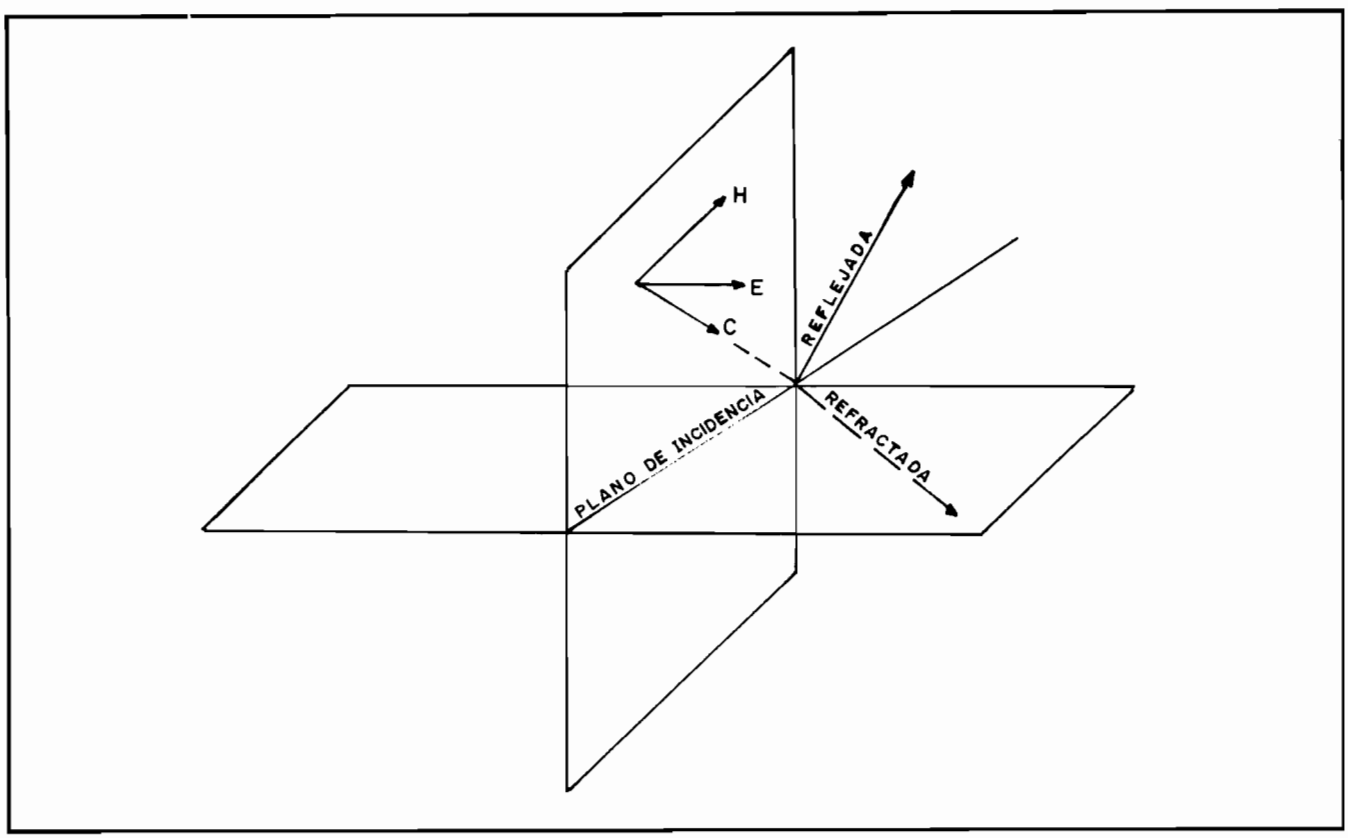


FIGURA 2.5 Polarización horizontal (E) Campo eléctrico, (H) Campo magnético

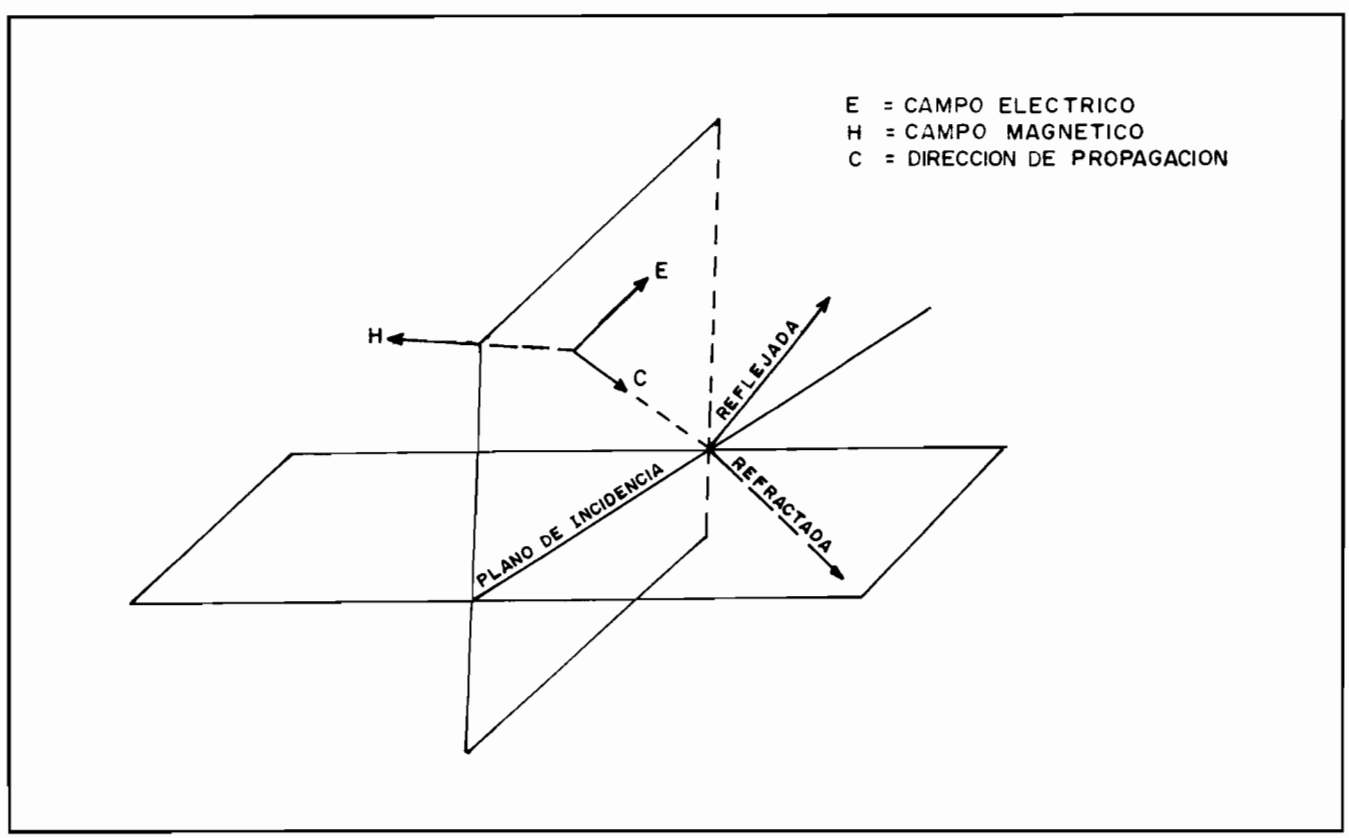


FIGURA 2.6 Polarización vertical (E) Campo eléctrico, (H) Campo magnético.

2.4 CUANTIFICACION DE LA POTENCIA RADIADA

Muchas técnicas de percepción remota, utilizan la radiación electromagnética para la detección e identificación de objetos distantes.

La información que se utiliza, está basada en el concepto de campo electromagnético y en la medición de las propiedades de ese campo de fuerza, de los materiales u objetos ubicados a distancia, los cuales producen modificaciones del campo electromagnético.

En el caso de campos de fuerza radiados, se puede con mucha precisión identificar y localizar los tipos de materiales o rocas que se quieran investigar a través de la cuantificación de las propiedades del movimiento ondulatorio que llegan al detector.

Para medir o detectar la naturaleza de esta radiación, se debe extraer alguna energía de este movimiento ondulatorio. Para la descripción y designación de la naturaleza de la radiación detectada y su cuantificación, se adoptará la nomenclatura, simbología y los sistemas de UNIDADES RADIOMETRICAS que han sido durante años, utilizadas en la calibración de normas de radiación. Solo se describen las más usadas en percepción remota y se presenta un listado de ellas en el Cuadro 2.3

CUADRO 2.3

UNIDADES RADIOMETRICAS

NOMBRE	SIMBOLO	UNIDAD	ABREVIACION
Energía radiante	Q	Joule	J
Flujo radiante (Potencia)	Φ	Vatios (Watts)	W
Exitancia radiante (Emitancia radiante)	M	Vatios por metro^2	W/m^2
Intensidad radiante	I	Vatios por estereorradián	W/Sr
Irradianza	E	Vatios por metro^2	W/m^2
Radianza	L	Vatios por metro por estereorradián.	W/(m^{2}x sr) W.sr^{-1} x m^{-2}

2.4.1 **Energía Radiante.-** (Q) A semejanza con el concepto mecánico, la energía radiante es una medida de la capacidad para realizar un trabajo físico o el desgaste del trabajo físico debido a algún movimiento producido por una fuerza cuando produce un desplazamiento. (Campo eléctrico moviendo una carga eléctrica, una fuerza magnética moviendo un imán).

La Unidad de energía es el JOULE. En este caso la energía total suministrada a un movimiento ondulatorio ó la producida por un movimiento ondulatorio hacia un receptor, es la cantidad básica a ser medida.

2.4.2 **Flujo Radiante (Potencia).-** (Φ) El término flujo radiante, tiene una similitud con el término físico Potencia, pero es necesario establecer algunas de sus diferencias.

POTENCIA es la relación entre el trabajo efectuado y el tiempo empleado en realizarlo.

FLUJO RADIANTE es un término utilizado en percepción remota, para significar el tiempo en el cual la energía radiante es transmitida y pasa por una posición espacial. En este caso, el interés radica en medir la cantidad de flujo radiante en tiempos muy cortos, de manera que sea precisa y correcta para sacar la información que se requiere de la misma; con referencia a la identificación de algún rasgo o material característico del terreno.

La unidad del Flujo radiante es el Vatio (Watt)

1 VATIO = 1 Joule/sec

2.4.3 **Irradianza (E).-** En un movimiento ondulatorio, el flujo radiante fluye en la dirección de propagación de la onda y de ahí es distribuida en el espacio. Cuando este flujo radiante es interceptado por una superficie plana, existe la necesidad de conocer la cantidad del flujo interceptado por unidad de área en esa superficie plana.

El flujo radiante que es interceptado por unidad de área, desde cualquier dirección, es llamada IRRADIANZA en otras palabras es la radiación que es incidente sobre un objeto o superficie de interés.

La unidad de Irradianza se mide en Vatios/m^2

$$\mathbf{E = \Phi \cdot A}$$

A = Area
Φ = Flujo radiante

La irradianza utiliza el símbolo E el cual también es utilizado para representar otros conceptos, que pueden ser confundidos, como el caso del concepto de Exposición muy utilizado en fotografía. Aunque existe cierta relación entre exposición e irradianza, los conceptos son diferentes.

2.4.4 **Exitancia o Emitancia radiante.-** (M) Si la irradianza se refiere a la cantidad de flujo que llega a una superficie, la exitancia es la densidad de flujo radiante que deja o sale de una superficie, es decir, es el flujo total emitido por una unidad de superficie al exterior y en toda dirección.

El símbolo utilizado es M y en unidades corresponde a vatios/m^2

2.4.5 **Medidas angulares - ANGULO SOLIDO.-** (Ω) Existen dos sistemas para medir ángulos: GRADOS y RADIANES. El grado es el ángulo subtendido por un arco de círculo que tiene 1/360 ava parte de la circunferencia. El Radián es el ángulo subtendido por un arco de círculo que tenga una longitud igual a su radio. Como la circunferencia de un círculo tiene una longitud igual a dos veces el radio, habrá en él dos radianes. El ángulo subtendido por un arco de longitud L en un círculo de radio "r" será igual a:

$$\mathbf{R = L/r}$$

El concepto de ángulo sólido de un cono es fundamental para las dos medidas cuantificables del flujo radiante. El ángulo de un cono subtendido por una parte de una superficie de la esfera de

área A, es igual al área A por el cuadrado del radio de la esfera. (Fig. 2.7). La unidad del ángulo del cono o ángulo sólido es el ESTEREORADIAN con símbolo Sr.

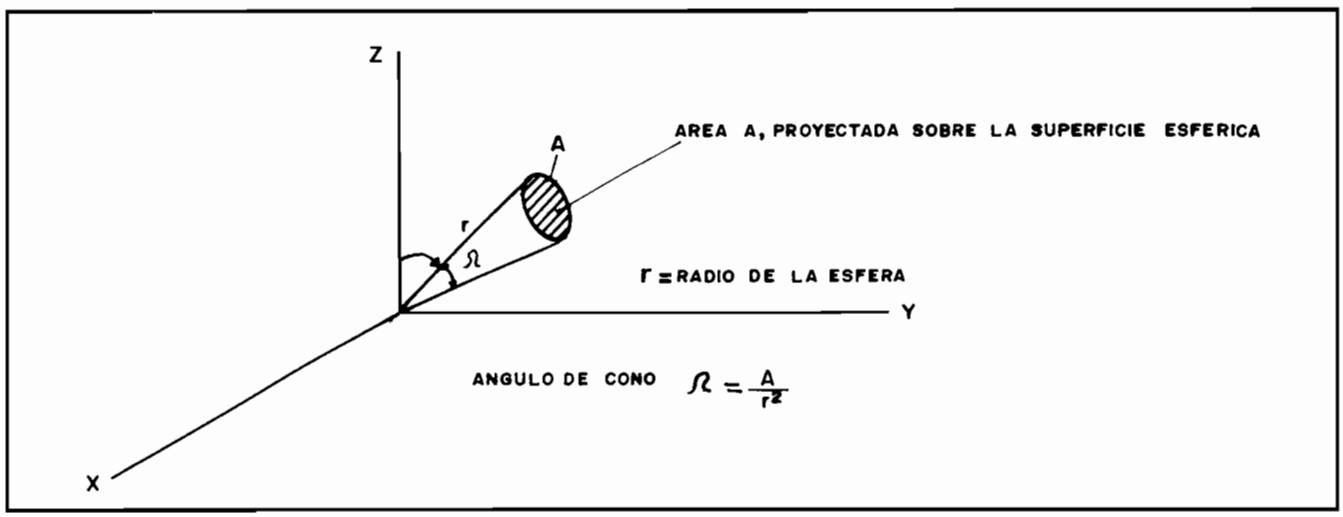


FIGURA 2.7 Angulo sólido

Puesto que el área de la superficie de una esfera es $4\pi R^2$ cuando el radio es R, hay 4π estereoradianes de ángulo sólido de una esfera.

2.4.6 **Intensidad(I)** .- La magnitud del flujo por unidad de ángulo sólido se llama Intensidad. Cuando se desea medir la intensidad de radiación o flujo radiante que emite un cuerpo lejano en el espacio por ejemplo una estrella, su intensidad puede ser medida, calculando el flujo radiante por unidad de ángulo sólido que deja la fuente en esa dirección. (Fig. 2.8)

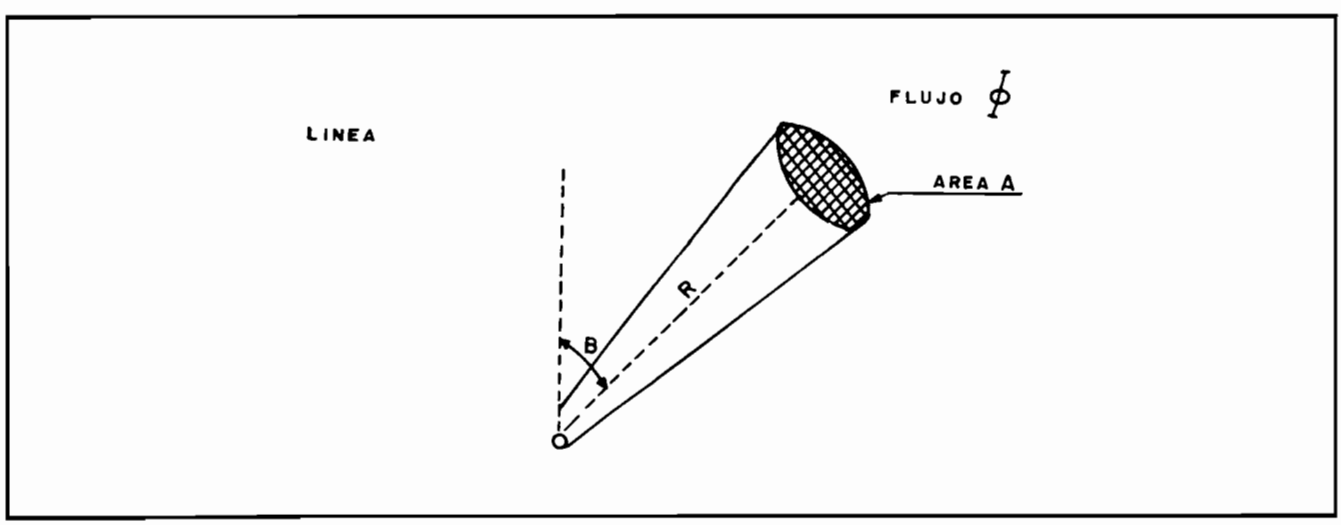


FIGURA 2.8 Intensidad de la fuente I.

La unidad de Intensidad se mide en Vatios/estereoradianes

$$\mathbf{I = W . Sr^{-1}}$$

2.4.7 **Radianza.- (L)** Es la cantidad de flujo radiante por unidad de un ángulo sólido, que proviene de una fuente emisora distante, que es interceptada por medio de un receptor de una determinada abertura o campo de vista de un sistema. (Fig. 2.9) La Radianza de una superficie es la magnitud característica de la radiación de la superficie emisora en determinada dirección.

La unidad de radianza se mide en Vatios/$m^2 \cdot$ Sr

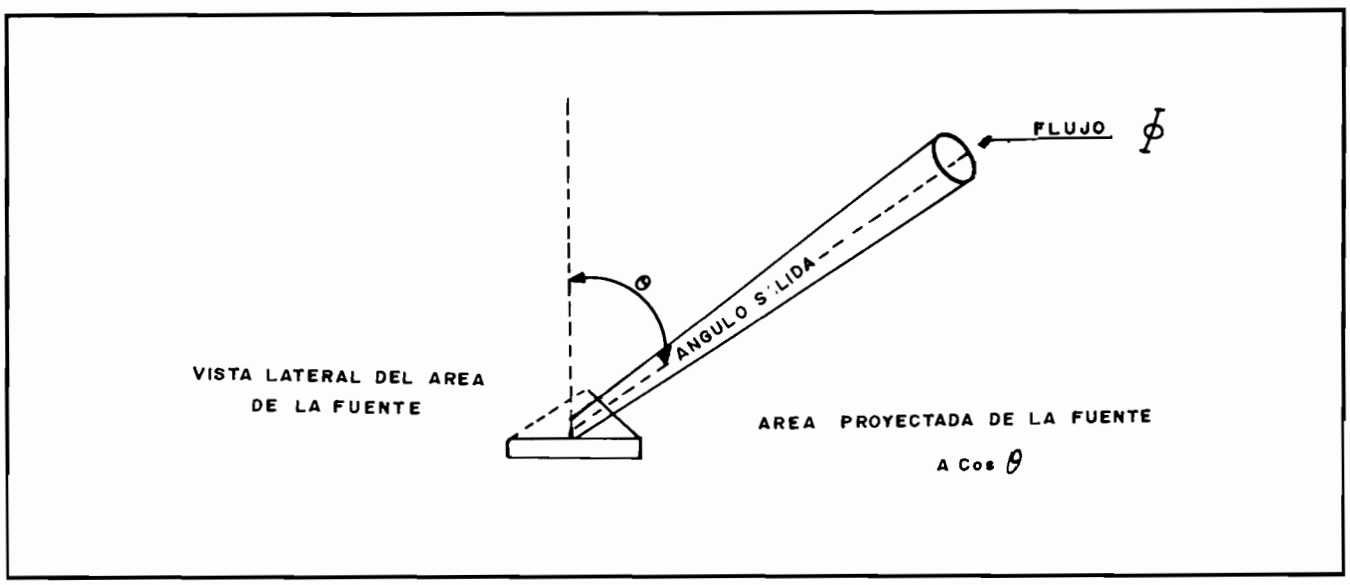


FIGURA 2.9 Radianza

El concepto de radianza correspondería al de **Brillo** cuando es aplicado especificamente al efecto visual de la radianza. Un pedazo de un buen papel blanco difuso, no cambia de brillo, según el ángulo con el cual es observado, tal papel tiene una radianza constante. La superficie ideal difusa que tiene una radianza constante, o igual brillo cuando es observado desde cualquier ángulo, es llamada SUPERFICIE LAMBERTIANA.

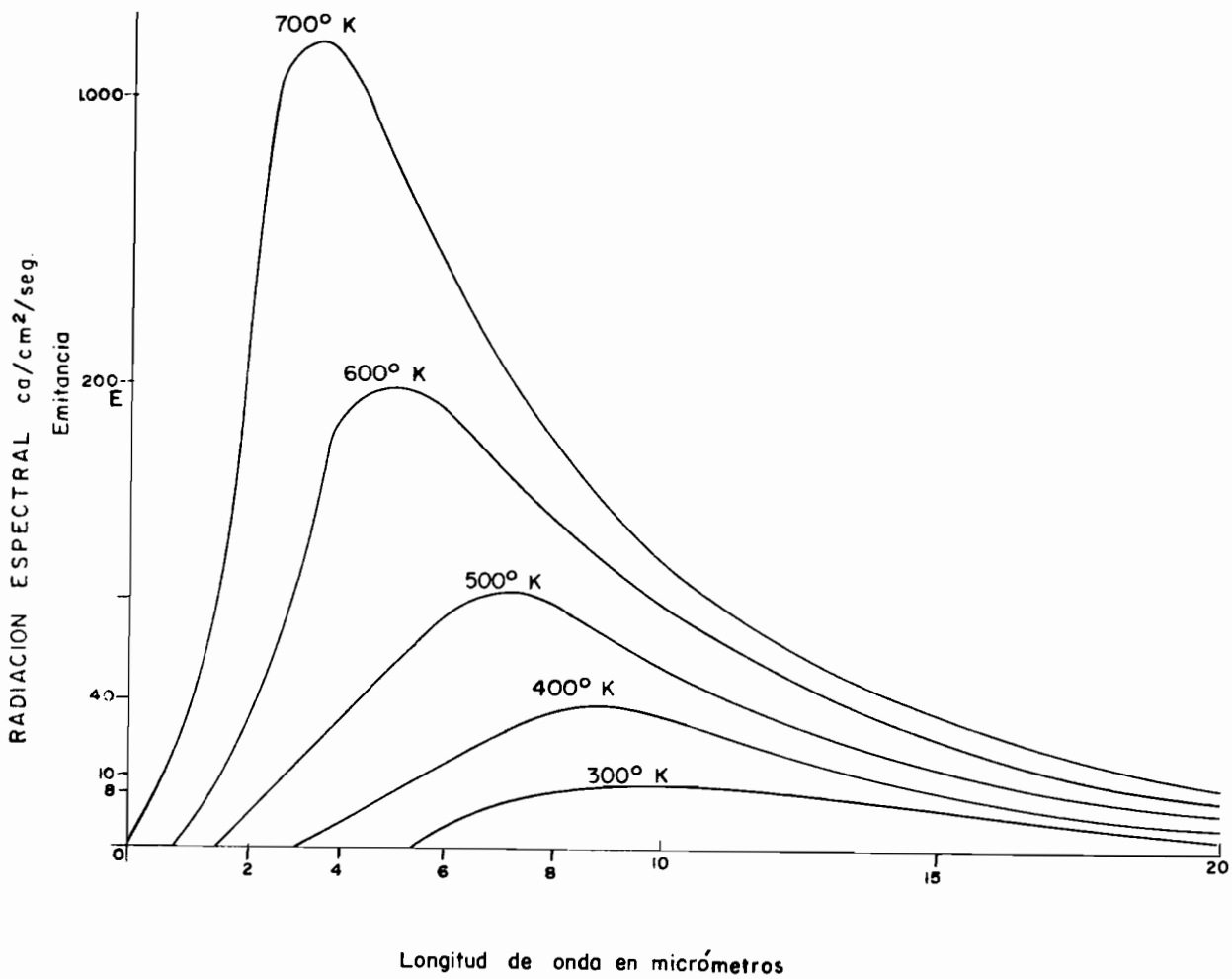
2.5 LEYES DE LA RADIACION

La propagación de la radiación electromagnética, sigue ciertas leyes físicas, y aunque se sabe que la naturaleza de las diferentes clases de radiación es la misma, se observa que las leyes básicas de la radiación infrarroja están relacionadas con su origen térmico. Estas leyes se refieren a la radiación térmica emitida por diversos cuerpos cuando se calientan a cierta temperatura. Por su importancia en Percepción Remota algunas de ellas son definidas, pero previamente es necesario establecer los conceptos más elementales sobre Radiación Térmica, Cuerpo Negro y Cuerpo Gris.

Todos los objetos con temperaturas por encima del cero absoluto, 0^oK (273^oC), están continuamente emitiendo y absorbiendo radiación. Cuanto más alta la temperatura del objeto mayor la cantidad total de energía emitida.

Los físicos a objeto de eliminar la subjetividad que puede darse cuando se trata de definir la cantidad de radiación que los cuerpos emiten o absorben, de acuerdo a la apariencia brillosa u oscura que muestra la superficie de los materiales, crearon el concepto teórico de CUERPO NEGRO como el radiador más efectivo y con un poder total de absorción de radiación. Por lo tanto un cuerpo negro es considerado como un objeto que absorbe todas las frecuencias de radiación que inciden sobre él.

$$M = \sigma T^4$$



Curvas de radiación de un cuerpo Negro para varias temperaturas

M = Emitancia radiante o Exitancia

T = Temperatura absoluto (Grados Kelvin)

σ = Constante Stefan – Boltzmann

$\sigma = (5.6687 \times 10^{-8}$ vatios $m^{-2} °K^{-4})$

FIGURA 2.10 Ley de Stefan-Boltzman

La radiación de un cuerpo negro se define como aquella que existe en una cavidad cuyas paredes están a temperatura uniforme. La densidad de energía dentro de la cavidad y la distribución de sus longitudes de onda son una función única de la temperatura. La energía total que emerge por una pequeña abertura en tal recinto a una temperatura absoluta T, está dada por la Ley de Stefan-Boltzmann.

2.5.1 **Ley de Stefan-Boltzmann.-** Define que la radiación total emitida M por un Cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de la Temperatura absoluta. (Fig. 2.10)

$$M = \sigma \cdot T^4$$

M = Exitancia (Emitancia radiante)
σ = Constante Stefan-Boltzmann $(5.6687 \cdot 10^{-8})$ vatios $\cdot$ $m^{-2}\,{}^{o}K^{-4}$
T = Temperatura Absoluta

Los objetos reales no son radiadores perfectos como los cuerpos negros, por lo que es necesario usar un factor de eficiencia de radiación llamado EMITANCIA ESPECTRAL o EMISIVIDAD, que permite describir la eficiencia de radiación de esos objetos como una función de la longitud de onda.

La emisividad se la define como la relación que existe entre la radiación emitida por un objeto y la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura.

$$\lambda = W/Wb$$

λ = Emisividad
W = Emitancia o Exitancia de cualquier cuerpo
Wb = Emitancia cuerpo negro

Los objetos reales son llamados CUERPOS GRISES cuando su emisividad es menor a 1.00 y además irradian con la misma emisividad espectral en todas las longitudes de onda. Cuando la emisividad en los objetos varía fuertemente con la longitud de onda, los cuerpos reciben el nombre de CUERPOS NO GRISES.

La emisividad en un cuerpo negro tendrá un valor igual a la unidad y la emisividad del resto de los cuerpos será por lo tanto siempre menor a la unidad.

2.5.2 **Ley de Kirchof.-** Esta ley establece que la relación entre el flujo de radiación emitida y el flujo de radiación absorbida a la misma temperatura, es el mismo para todos los cuerpos negros.

Sobre esta ley se basa, la definición del concepto de emisividad que es la relación entre la emitancia de un objeto y la de un cuerpo negro a la misma temperatura. La emisividad de un cuerpo para distintos valores de longitudes de onda es siempre igual a la absorbancia. Un radiador que absorbe por completo toda la radiación incidente en él, tiene la máxima emisividad.

$$\lambda = \alpha = 1$$

λ = Emisividad
α = Absorbancia

2.5.3 **Ley de Desplazamiento de Wien.-** La Figura 2.11 muestra la relación entre la longitud de onda y la cantidad de energía radiada por varias fuentes de energía a diferentes temperaturas en grados Kelvin. El sol con una temperatura de aproximadamente 6000 ^{o}K irradia enormes cantidades de energía con longitudes de onda que corresponden al ultravioleta, espectro visible y la región del infrarrojo, con una concentración máxima de energía en la longitud de onda correspondiente a los 0.5 μm, que pertenece al color verde del espectro visible.

La energía radiada por la tierra a la temperatura ambiente, 300 ^{o}K o 27 ^{o}C, muestra en la Fig. 2.11 una curva amplia y baja en la región del infrarrojo, y un pico máximo de concentración en la longitud de onda de 9.7 μm.

En el caso de un metal, cuando es calentado, empieza a radiar energía, primero a longitudes de ondas muy grandes en el infrarrojo. Conforme va adquiriendo mayor temperatura, empieza a radiar mayor cantidad de energía, en longitudes de onda más cortas, empezando en el extremo rojo del espectro visible y terminando en el azul. Así el metal sucesivamente va apareciendo rojo, naranja, amarillo y por último cuando ha sido radiada suficiente luz violeta y azul, se torna blanco.

Esto ocurre generalmente con temperaturas del orden de los 600 a 11000 grados Kelvin.

Este efecto permite definir la ley de desplazamiento de Wien, la cual establece:

Que los valores máximos del espectro de las diferentes radiaciones de los cuerpos que son calentados al emitir radiación,se desplazan hacia las longitudes de onda más cortas, conforme la temperatura del cuerpo radiador aumenta. (Fig. 2.11)

En otras palabras significa que la radiación de longitud de onda máxima de un cuerpo negro o radiador perfecto es inversamente proporcional a su temperatura absoluta T, o sea:

$$\lambda \, \mathbf{max} \, . \, T = K$$

$$\mathbf{K = Constante\ de\ Wien = 2.898.10^{-3}\ m/^{o}K}$$

2.5.4 **Ley de Lambert.-** La cantidad de energía radiante que emite cualquier superficie varía con el coseno del ángulo desde el cual se aparta de la misma y cuya fórmula es la siguiente:

$$W\theta = W \cos \theta$$

$W\theta$ = Energía emitida con ángulo θ
W = Energía emitida en ángulo recto a la superficie
θ = ANGULO entre la dirección de la energía que se está emitiendo y la normal (ángulo recto) de la superficie desde la cual se emite la energía.

La radianza es una magnitud que depende de la dirección, aunque para ciertas fuentes puede no depender de ella. Estas fuentes se denominan fuentes que obedecen la ley de Lambert. Los medios que se rigen por esta ley, se les llama difusores ideales.

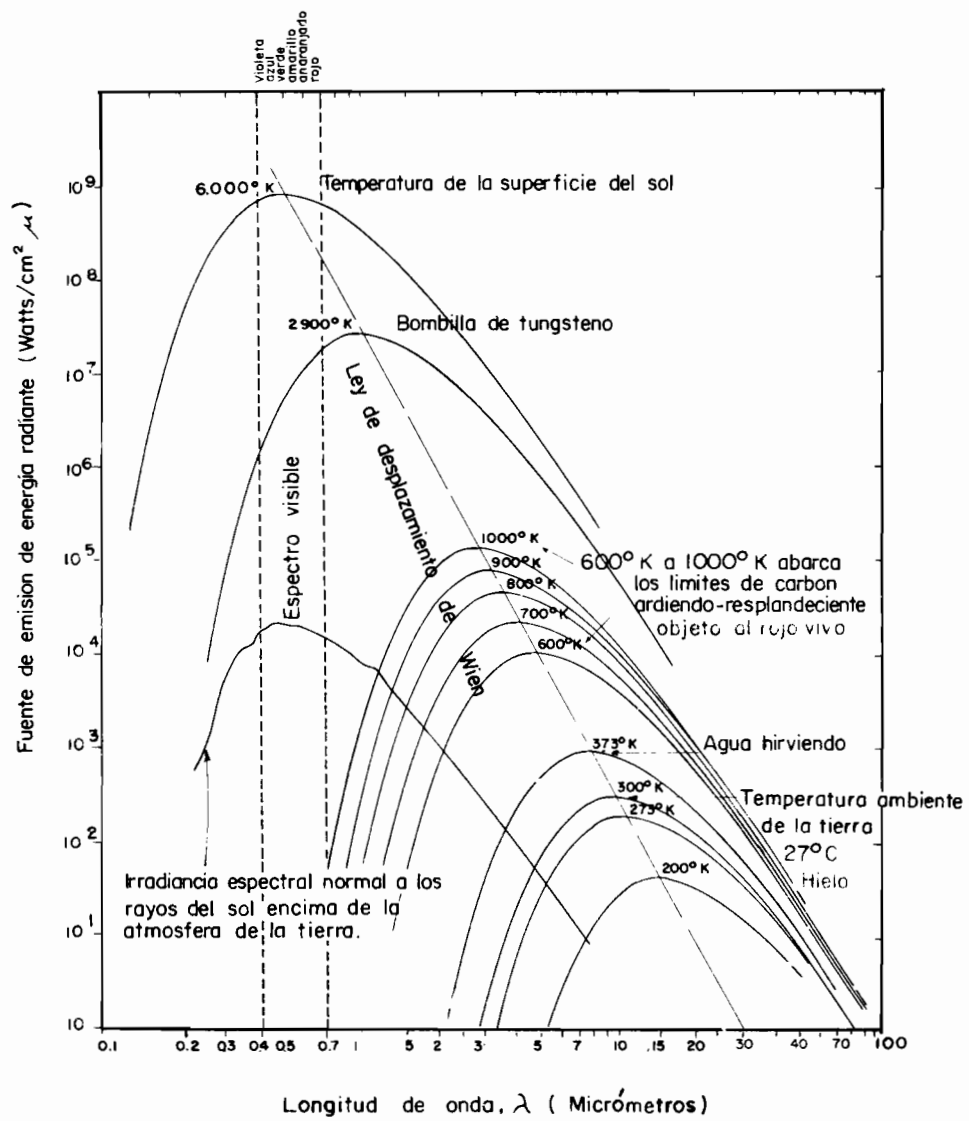


FIGURA 2.11 Ley de desplazamiento de Wien
Emisión óptica de la radiación para cuerpos Negros a diferentes temperaturas

$$\lambda_{max} = k/T$$

λ max = Longitud de onda de la máxima radianza espectral
k = 2.898 μ m°K
T = Temperatura grados Kelvin

2.6 EL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

El espectro electromagnético es la representación gráfica, en forma ordenada y a escala continua de los diferentes tipos de radiación, en función de su longitud de onda y frecuencia de onda, cuyos valores oscilan desde el orden del Angstron micrómetro, centímetro, metro hasta el de kilómetros, comprendiendo desde los rayos gama hasta las ondas de radio. (Fig. 2.12).

La naturaleza física de la radiación es la misma en toda la escala. En todas las regiones del espectro electromagnético posee la misma velocidad y la misma naturaleza electromagnética; la única diferencia de una parte del espectro a otra es la frecuencia y longitud de onda.

Las regiones del espectro se sobreponen unas con otras, porque los límites entre regiones no son definidos sino transicionales por la misma naturaleza de la radiación.

2.6.1 **División de las regiones del Espectro Electromagnético.-** La división del espectro electromagnético en regiones espectrales, en realidad es algo arbitraria, y tales subdivisiones y los nombres asignados han sido establecidos por fines de conveniencia.

Por ejemplo en las radiaciones solares que llegan a la superficie de la tierra, no existe una clara separación entre ellas, por lo tanto no debe sorprender encontrar que los valores en longitud de onda de las diferentes regiones espectrales, que en el texto se dan, puedan ser en algo diferentes a los valores que figuran en otros textos. (Cuadro 2.4 y fig. 2.12).

De igual manera, los límites entre las diferentes regiones espectrales son transicionales, por lo que existe una sobreposición o traslape entre ellas.

De un modo general y en función de la capacidad de ser captadas por el hombre a través del sentido de la vista, el espectro electromagnético, puede ser dividido inicialmente en dos regiones mayores denominadas ESPECTRO VISIBLE y ESPECTRO INVISIBLE.

2.6.1.1 **Espectro visible.-** Es aquella porción del espectro electromagnético que puede ser detectado por el ojo humano y cuya sensibilidad se extiende desde aproximadamente los 0.38 hasta los 0.7 μm, alcanzando su máxima sensibilidad a los 0.5 μm que pertenece al color verde y corresponde a la máxima concentración de energía irradiada por el sol.

La luz visible o luz blanca, al atravesar un prisma de cristal, se descompone en sus colores componentes, con diferentes valores en longitud de onda, que corresponden al violeta, azul, verde, amarillo y rojo.

Estos colores son los que se observan en el arco iris, fenómeno debido también al efecto de dispersión de la luz blanca ocasionada por gotas de lluvia.

Los valores aproximados de longitud de onda que corresponden a los colores indicados se presentan en el cuadro 2.4

A pesar del rango tan restringido de longitud de onda que tiene el espectro visible, constituye una de las regiones espectrales, más importantes en percepción remota.

CUADRO 2.4

LONGITUD DE ONDA DE LOS COLORES DEL ESPECTRO VISIBLE

COLOR	LONGITUD DE ONDA μm*
Violeta	0.38 - 0.44
Azul	0.44 - 0.50
Verde	0.50 - 0.57
Amarillo	0.57 - 0.59
Anaranjado	0.59 - 0.62
Rojo	0.62 - 0.72

* El término Micrómetro (μm) utilizado, corresponde al término Micrón.(Micra)

2.6.1.2 **Espectro invisible.-** Se llama así porque corresponde al resto de las radiaciones que no pueden ser captadas por la vista humana, y se encuentran a ambos lados del espectro visible.

Las regiones espectrales que se hallan agrupadas en el espectro invisible son las siguientes: Rayos Gama, Rayos X, Rayos Ultravioleta, Infrarrojo, Microondas y Radio. (Cuadro 2.5 y Fig. 2.12).

CUADRO 2.5

DIVISIONES PRINCIPALES DEL ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

REGION ESPECTRAL	LONGITUD DE ONDA			
Rayos Gama		<	0.03	nm
Rayos - X	0.03	-	3.00	nm
Ultravioleta	0.30	-	0.38	μm
Visible	0.38	-	0.72	μm
Infrarrojo	0.72	-	15. 00	μm
(Infrarrojo cercano)	(0.72	-	1.30)	μm
(Infrarrojo medio)	(1.30	-	3.00)	μm
(Infrarrojo lejano)	(7.00	-	15.00)	μm
Microondas	0.3	-	30	cm
Radio		≥	30	cm

Los sistemas más comunes utilizados en percepción Remota, solo operan con algunas de las regiones espectrales nombradas. Por esta razón solo se describirán las de mayor significación para los fines de percepción remota.

Ultravioleta Existen radiaciones de longitud de onda más corta que las del espectro visible, que a pesar de no poder ser vista por el ojo humano, ellas pueden ser captadas por emulsiones fotográficas. En función de su uso en percepción remota, las radiaciones ultravioletas, se hallan divididas en cuatro

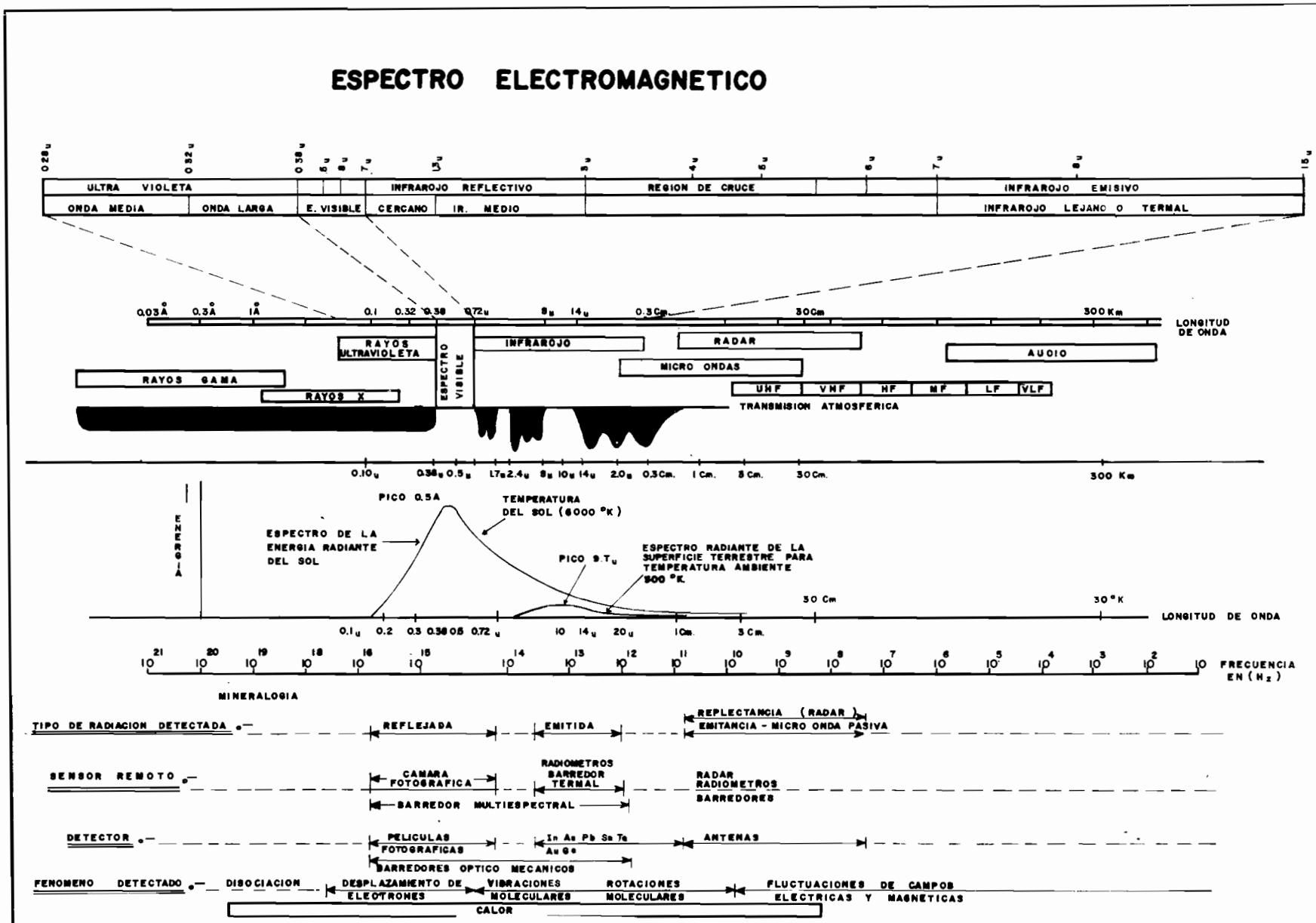


FIGURA 2.12 Espectro Electromagnético

bandas muy angostas que se las denomina: Ultravioleta de onda larga, ultratravioleta de onda media, ultravioleta de onda corta y ultravioleta del vacío. (Cuadro 2.6)

Ultravioleta de onda larga cubre los rangos 0.32 a 0.38 μm. Este rango es el transmitido por vidrio óptico normal, que es utilizado para la construcción de lentes de cámaras fotográficas. Por lo tanto este rango de longitudes de onda es el de valor más práctico para su uso en fotografía ultravioleta.

Ultravioleta de onda media Incluye radiaciones que van desde los 0.28 a 0.32 μm. Parte de esta banda (0.29 a 0.32 μm) se halla incorporada en las radiaciones que provienen del sol, que son las que producen la acción bronceadora de la piel y en algunos casos las quemaduras de la piel, cuando se expone al sol por mucho tiempo. Estas radiaciones son también emitidas por lámparas ultravioletas de sol, muy utilizadas en interiores para efectos de bronceado de piel. Este tipo de radiación no es transmitida por lentes normales fotográficos.

Un lente construido con cuarzo, puede transmitir estos rayos para producir imágenes.

Ultravioleta de onda corta. Se extiende desde los 0.20 a 0.28 μm de longitud de onda. Esta banda algunas veces es llamada ultravioleta lejano. Estas radiaciones producen quemaduras de la piel y de la vista.

Los lentes de cuarzo pueden transmitir estas radiaciones.

CUADRO 2.6

SUBDIVISIONES DEL ULTRAVIOLETA

NOMBRE	LONGITUD DE ONDA
Ultravioleta de onda larga	0.38 - 0.32 μm
Ultravioleta de onda media	0.32 - 0.28 μm
Ultravioleta de onda corta	0.28 - 0.20 μm
Ultravioleta del vacío	0.20 - 0.10 μm

Ultravioleta del vacío. Incluye longitudes de onda más cortas que 0.20 μm y baja aproximadamente hasta los 0.10 μm que limita con la parte superior de la radiación correspondiente a los rayos X. Estas radiaciones son solo transmitidas a través del vacío, y no son de valor práctico en fotografía.

Infrarrojo. En 1801, el astrónomo ingles William Herschel, expuso un termómetro a los rayos de colores distintos que salían de un prisma al que llegaba un rayo de luz blanca solar. Encontró así que la temperatura del termómetro, aumentaba cada vez más, a medida que se iba acercando al rojo; fue aún más sorprendente cuando comprobó que la temperatura del termómetro, a pesar de encontrarse por encima del rojo y estar en la oscuridad, no descendia, sino que, por el contrario, seguía subiendo. Esto revelaba la existencia de radiaciones invisibles al ojo humano, y que por su posición la llamó radiación infrarroja. (Fig. 2.13)

Esta región espectral es muy grande en relación a la región del espectro visible, sus valores de longitud de onda se extienden desde los 0.72 hasta los 15 μm casi 40 veces más amplia que las del espectro visible.Debido al rango tan amplio de estas radiaciones, ellas presentan propiedades muy

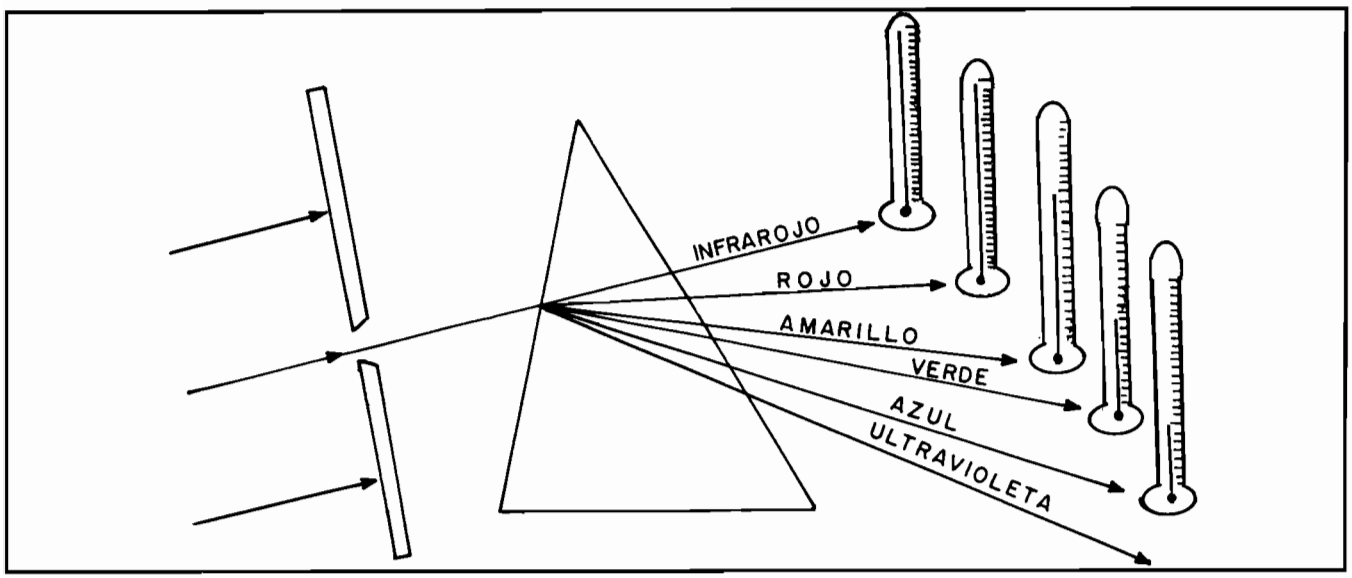


FIGURA 2.13 Infrarrojo y Temperatura

variadas, para mejor descripción de las mismas se las subdivide en tres grupos denominados: infrarrojo cercano, infrarrojo medio, e infrarrojo lejano. (Cuadro 2.7)

Infrarrojo cercano Se llama así por su ubicación, que es contigua a la del espectro visible.Esta radiación se comporta con respecto a los sistemas ópticos, de una manera análoga pero no idéntica a las radiaciones del espectro visible. Por ello es posible detectar estas radiaciones con películas, filtros y cámaras fotográficas, cuyos diseños son similares a los utilizados con la luz visible. Los valores de longitud de onda de estas radiaciones van de 0.72 a 1.3 μm.

C U A D R O 2.7

SUBDIVISIONES DEL INFRARROJO

Nombre	Longitud de onda	Otros Nombres
Infrarrojo cercano	0.70 - 1.3 μm	Infrarrojo Reflectivo
Infrarrojo medio	1.30 - 3.0 μm	Infrarrojo Reflectivo
Infrarrojo lejano	7.00 - 15.0 μm	Infrarrojo Termal ó Infrarrojo Emitido

Infrarrojo medio Estas radiaciones, tienen un comportamiento similar a las anteriores. Por las características algo similares de estas radiaciones, algunos autores utilizan el término Infrarrojo Reflectivo para designar a estas dos subdivisiones del infrarrojo. (Cuadro 2.7). Las longitudes de onda que corresponden a estas radiaciones se extienden desde 1.30 a 3.00 μm.

Infrarrojo lejano. Se halla constituida por longitudes de onda, del infrarrojo más alejadas del espectro visible, con valores que oscilan entre 7.00 y 15.00 μm, extendiendose en la región que bordea a las microondas. Esta radiación es totalmente diferente a las del infrarrojo reflectivo y espectro visible. Ambas son esencialmente radiaciones solares reflejadas por la superficie terrestre, mientras

que la radiación del infrarrojo lejano es emitida por la superficie terrestre. Esta radiación se manifiesta en forma de calor o de energía termal y en razón de ello, aunque en forma inapropiada, también es llamada infrarrojo termal o infrarrojo emitido.

Se hace notar que al asignar los rangos de longitud de onda de las tres divisiones del infrarrojo, existe un sector comprendido entre los 3.0 a 7.0 μm que no ha sido considerado como parte de las indicadas subdivisiones. Ello se debe a que en este rango de longitudes de onda, los efectos atmosféricos complican grandemente la interpretación de los datos que pertenecen a estas radiaciones, limitando de ese modo la utilidad de estas longitudes de onda para su aplicación en percepción remota.

Microondas. Las radiaciones de mayor longitud de onda utilizadas en percepción remota, tienen valores que varian entre 1 mm. y 1 metro. En la región milimétrica de la longitud de onda, 0.1 mm a 1 cm. hay suficiente energía termal, que tiene mucho de común con la del infrarrojo lejano o termal, aunque no con la misma sensibilidad de temperatura. Las microondas entre los rangos de 100 μm y 1 mm. aún no son utilizadas en percepción remota, por no existir detectores para estas longitudes de onda

En el otro extremo, las radiaciones con longitudes más largas, tienen características parecidas a las ondas de radio.

Las longitudes de onda de esta región del espectro utilizadas en percepción remota, han sido denominadas con una nomenclatura especial, que parece arbitraria e ilógica, pero ello se debe al objetivo original, que fue el desarrollo de sistemas de radar para fines militares. Por esta razón es que las bandas utilizadas, fueron designadas con un código especial, que utilizaba letras, por razones de seguridad militar. Como estas designaciones han sido utilizadas posteriormente para fines civiles, es que ellas han sido mantenidas hasta la fecha, y su uso se ha vuelto normal.

Los símbolos, frecuencias y longitudes de onda más utilizados se presentan en el cuadro 2.8

C U A D R O 2.8

DESIGNACION DE LAS BANDAS DE LA REGION DE LAS MICROONDAS UTILIZADAS EN LOS SISTEMAS DE RADAR

BANDAS	LONGITUD DE ONDA	FRECUENCIA
	cm.	MegaHertz
L	30.00 - 15.00	1000 - 2000
S	15.00 - 7.50	2000 - 4000
C	7.50 - 3.75	4000 - 8000
X	3.75 - 2.40	8000 - 12500
Ku	2.40 - 1.67	12500 - 18000
K	1.67 - 1.18	18000 - 26500
Ka	1.18 - 0.75	26500 - 40000

Resumiendo,se puede establecer que el espectro electromagnético de acuerdo a su aplìcación en percepción remota, puede ser denominado y divìdido de diversas maneras. Así por ejemplo se puede hablar del ESPECTRO OPTICO que es el sector comprendido entre las longitudes de onda de 0.30

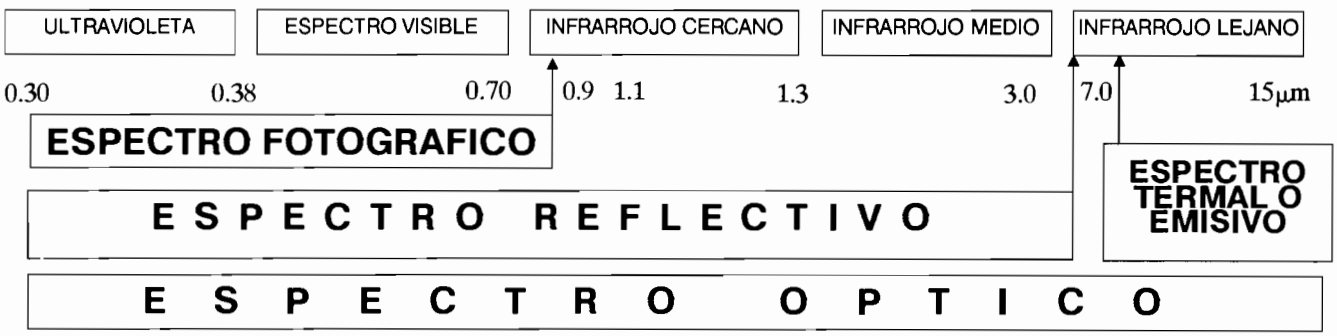
a 15 μm (Cuadro 2.9) y se denomina así porque la energía electromagnética de este rango de longitud de onda, puede ser reflejada y refractada con materiales sólidos como lentes y espejos.

El sector comprendido entre las longitudes que abarca desde los 0.38 a los 3.00 μm, es designado con el nombre de ESPECTRO REFLECTIVO, debido a que las radiaciones de este rango son radiaciones que principalmente provienen del Sol y son reflejadas por la superficie de la tierra. (Cuadro 2.9)

Las radiaciones del ultravioleta, parte del infrarrojo cercano, entre 0.78 y 0.9 μm y las del espectro visible, es denominada en su conjunto como ESPECTRO FOTOGRAFICO (Cuadro 2.9) por ser detectadas por películas fotográficas especialmente diseñadas para este fin.

CUADRO 2.9

REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LOS DIFERENTES ESPECTROS UTILIZADOS EN PERCEPCION REMOTA



El término ESPECTRO EMISIVO O TERMAL, a veces es utilizado para referirse a la energía que es radiada por los objetos, cuyas longitudes de onda corresponde a las del Infrarrojo Termal.

2.7 FUENTES PRINCIPALES DE RADIACION ELECTROMAGNETICA

Para la obtención y registro de datos, la percepción remota, utiliza básicamente tres fuentes principales de energía, las cuales se hallan en función de la longitud de onda y del propósito del estudio que va a realizarse. De un modo general se basa en el uso de la radiación reflejada y emitida por los materiales de la superficie terrestre

La primera y una de las principales fuentes de radiación electromagnética más utilizada es la que corresponde a la radiación solar. Las radiaciones que emite el sol, incluye a todas las radiaciones del espectro electromagnético, aunque las de longitud de onda muy corta, no llegan a alcanzar la superficie terrestre, razón por la cual las más importantes corresponden a parte del ultravioleta, espectro visible e infrarrojo. La energía emitida por el sol, como se indicó anteriormente

corresponde a una fuente con temperatura de 6000°K, con un pico de máxima concentración de energía en la longitud de onda de 0.5 μm.

Por esta razón, para detectar y registrar los materiales de la superficie terrestre con la luz solar, se debe utilizar instrumentos o sensores que sean sensibles a las longitudes de onda del espectro visible y del infrarrojo cercano. (Fig. 2.11 y 2.12)

El sensor más importante en este caso es el Sistema Fotográfico, que detecta y registra la luz reflejada por los objetos de la superficie terrestre.

La energía solar puede ser detectada directamente, como es el caso de la luz solar reflejada por la superficie terrestre, o ser detectada luego de haber sido absorbida y re-radiada. Si se requiere obtener información durante la noche, no se podrá hacer uso de la luz reflejada del sol, debiendo en este caso utilizar la energía emitida por los cuerpos.

Si se observa en las figuras 2.11 y 2.12, la curva que corresponde a la temperatura ambiente de la superficie terrestre, se ve que para esa temperatura (300° K o 27° C), de acuerdo a la Ley de Desplazamiento de Wien, la curva que desarrolla es ampliay baja en la región del infrarrojo, con un máximo valor de concentración de energía en la longitud de onda de 9.7 μm que corresponde al infrarrojo lejano o termal. Esta energía re-emitida por los materiales de la superficie terrestre es la detectada en percepción remota, para obtener información.

La segunda fuente corresponde a este tipo de energía emitida por los materiales de la superficie terrestre, la cual deriva principalmente de la radiación solar de longitud de onda corta que ha sido absorbida y luego re-radiada o re-emitida por los materiales de la superficie terrestre, en longitudes de onda más corta, que son gobernadas por las propiedades del material absorbente y emisor, relacionadas principalmente con las propiedades termales de los mismos, las cuales corresponden al infrarrojo lejano o termal, utilizando para ello sensores qu detectan esta clase de energía, designados con el nombre de Radiómetros y Barredores termales.

De acuerdo a las consideraciones anteriores, se puede establecer que la energía involucrada en la generación de la radiación emitida proviene de tres fuentes:

a) del calentamiento de la superficie terrestre por la radiación solar

b) del flujo de calor radiogénico del interior de la Tierra

c) de la actividades humanas

Radiaciones en la región de las microondas pueden ser generadas termalmente, pero no es práctico especialmente para longitudes de onda más largas. La razón es que a medida que el cuerpo negro aumenta en temperatura, relativamente hay poca diferencia en la cantidad de radiación de microondas emitida. Esta radiación emitida, es difícil detectarla con detectores termales en la región de las microondas.

Por esta razón la radiación más apropiada para utilizar en percepción remota, cuando se quiere operar con longitudes que corresponden a la región de las microondas, es la que se genera artificialmente mediante el uso de osciladores eléctricos conectados a antenas, diseñadas para emitir y detectar las reflexiones de dichas radiaciones. El sensor que opera con estas radiaciones es el Sistema Radar.

2.8 INTERACCION DE LA RADIACION ELECTROMAGNETICA CON LA ATMOSFERA Y LOS MATERIALES DE LA SUPERFICIE TERRESTRE

Para el manejo eficiente de la información obtenida mediante los diferentes sistemas de sensores remotos, es necesario examinar y entender lo que ocurre con la radiación solar, que atraviesa la atmósfera en su trayectoria a la superficie terrestre, así como analizar la interacción de esta radiación con los materiales de la superficie terrestre, y su posterior retorno a la atmósfera, luego de ser reflejada por la superficie terrestre y detectada por un sensor en el espacio. (Fig. 2.23)

2.8.1 **Interacciones con la atmósfera.-** La radiación electromagnética generada por el sol y propagada por la atmósfera, a la velocidad de la luz en el vacío, es afectada por la atmósfera en la velocidad de la radiación, en su frecuencia, intensidad, distribución espectral y su dirección.

La atmósfera actua como un filtro protector contra las radiaciones, partículas y meteoritos provenientes del espacio. Así las radiaciones ultravioletas en su mayoría no llegan a la superficie terrestre, porque la capa de Ozono, que tiene su máxima concentración a los 25 Km, absorbe gran porcentaje de la radiación ultravioleta. Solo un porcentaje bajo de estas radiaciones y otras llegan a la superficie terrestre a través de las llamadas ventanas atmosféricas.

En porcentajes se podría decir que aproximadamente dos terceras partes de la energía radiada por el Sol llega a la superficie terrestre, correspondiendo el 50 % de esta radiación al espectro visible, 40 % al infrarrojo y un 10 % al ultravioleta. (Fig. 2.14)

Otro aspecto que debe tomarse en cuenta es la relación de la distancia que recorren las radiaciones con la magnitud de la señal de energía que va a ser detectada, las condiciones atmosféricas y la longitud de onda involucrada. Por ejemplo si se considera la información registrada por un satélite, ubicada en órbitas espaciales, por encima de los 400 Km de altura, la luz solar recorrerá una distancia equivalente casi a 400 veces más que la correspondiente al registrado por el vuelo de un avión a 10000 m de altura. Pero en ambos casos la trayectoria de la radiación es doble comparada con la que corresponde a un sensor termal, que solo detecta energía emitida directa del objeto en la superficie terrestre. Estas diferencias en la longitud de la trayectoria de las radiaciones, tiene su influencia en el efecto neto que la atmósfera puede ejercer, en el tipo y calidad del registro.

Si se compara la atmósfera de las grandes ciudades, con la del campo, se puede observar que en la atmósfera de las ciudades, los rayos del sol no llegan con la misma intensidad que en el campo. Este efecto se debe a la gran concentración de partículas de polvo, humo, vapor de agua, aérosoles, oxígeno, bióxido de carbono y moléculas que producen la atenuación, dispersión, absorción, refracción y otros efectos en la radiación.

Es importante por lo tanto conocer los efectos que las diferentes capas y composición de la atmósfera en sus diferentes niveles, pueden producir en la radiación solar. Entre las más importantes se citan a los siguientes:

a) DISPERSION

b) ABSORCION

c) REFRACCION.

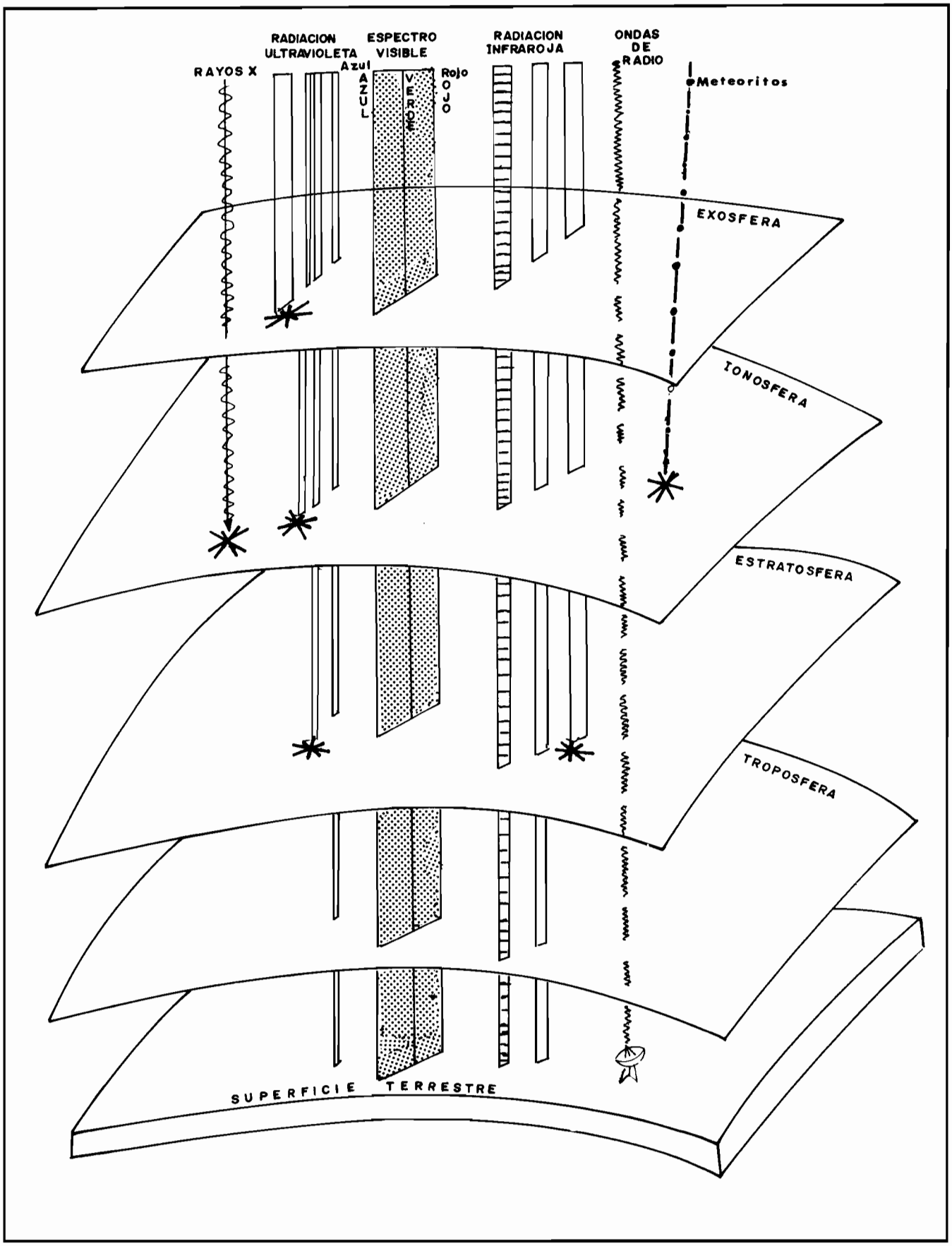


FIGURA 2.14 Representaciòn esquemàtica de la atmòsfera y sus capas constituyentes, y la trayectoria de la radiaciòn a la superficie terrestre.

2.8.1.1 **Dispersión.-** La dispersión es un fenómeno de interferencia a las radiaciones que viajan por la atmósfera, por partículas suspendidas en la atmósfera o por moléculas de gases atmosféricos, de diámetros diferentes, provocando cambios en la dirección de la trayectoria de dichas radiaciones.(Fig. 2.15).

La cantidad de dispersión depende de varios factores entre los que se puede nombrar al tamaño de las partículas, la cantidad de las mismas, la longitud de onda de las radiaciones, el espesor de la atmósfera a través de la cual las radiaciones viajan.

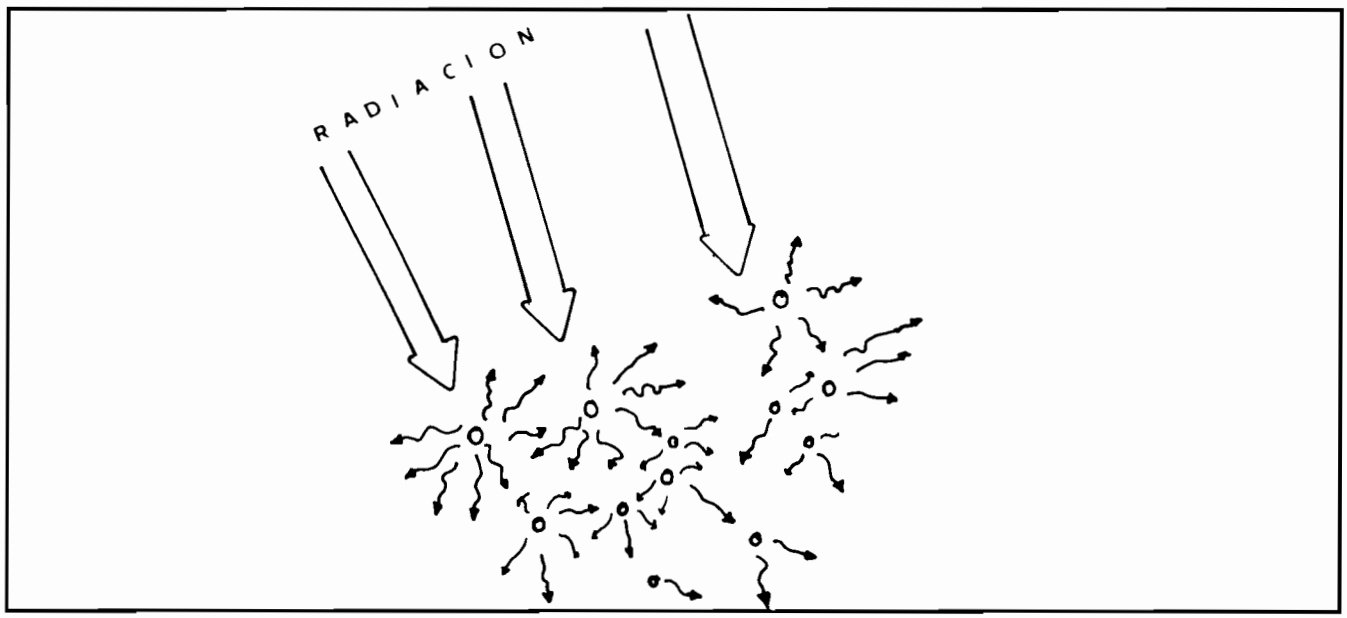


FIGURA 2.15 Dispersión

La dispersión es la causa por la que la atmósfera tenga su propio y característico brillo, de igual manera por efecto de este proceso es que las sombras no son totalmente negras o negras azabaches, sino son solamente oscuras, pudiendo además por efecto de la dispersión ver los objetos en la sombra.

Otro efecto que produce la dispersión en relación al brillo de los objetos registrados por los sensores, es que los objetos oscuros aparecen con mayor brillo, mientras que los objetos brillosos se registran más oscuros, provocando una disminución en el contraste del sensor utilizado.

De acuerdo al tipo, tamaño y selección de las partículas en función del diámetro, la dispersión puede ser de dos tipos: DISPERSION SELECTIVA y DISPERSION NO SELECTIVA.

2.8.1.1.1 **Dispersión Selectiva.-** En este tipo de dispersión, las longitudes de onda más cortas de luz, son dispersadas selectivamente con mayor rigor que longitudes de onda más largas. Existen dos formas de dispersión selectiva:

a) DISPERSION RALEIGH y b) DISPERSION MIE

Dispersión Raleigh Esta forma común de dispersión, fue descubierta por W.S. Raleigh, en 1890, y demostró que ella ocurre cuando las partículas suspendidas en la atmósfera tienen diámetros

menores a las longitudes de onda del espectro visible. Estas partículas generalmente son moléculas de gases atmosféricos tales como N_2 y O_2.

La Ley de Raleigh establece que la dispersión Raleigh es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda. Esto significa que la cantidad de dispersión aumenta en gran proporción conforme la longitud de onda se vuelve más corta. Por lo tanto las longitudes de onda más corta son más fuertemente dispersadas que las de longitudes de onda más larga.

Esto se puede visualizar en la figura 2.16, que muestra la predominancia de este proceso en la banda del azul y particularmente en la del ultravioleta. Existe una relación que establece de una manera general que la luz azul es dispersada cinco veces más de que la luz roja. Este tipo de dispersión es la causante para que el cielo se vea de color azul, y que el atardecer y amanecer, se vean de color rojo. La razón para que ocurra este fenómeno, se halla relacionado con la trayectoria que recorren los rayos solares que son más cortos y directos, durante el día y especialmente al mediodía, debido a la posición muy alta que tiene el sol.

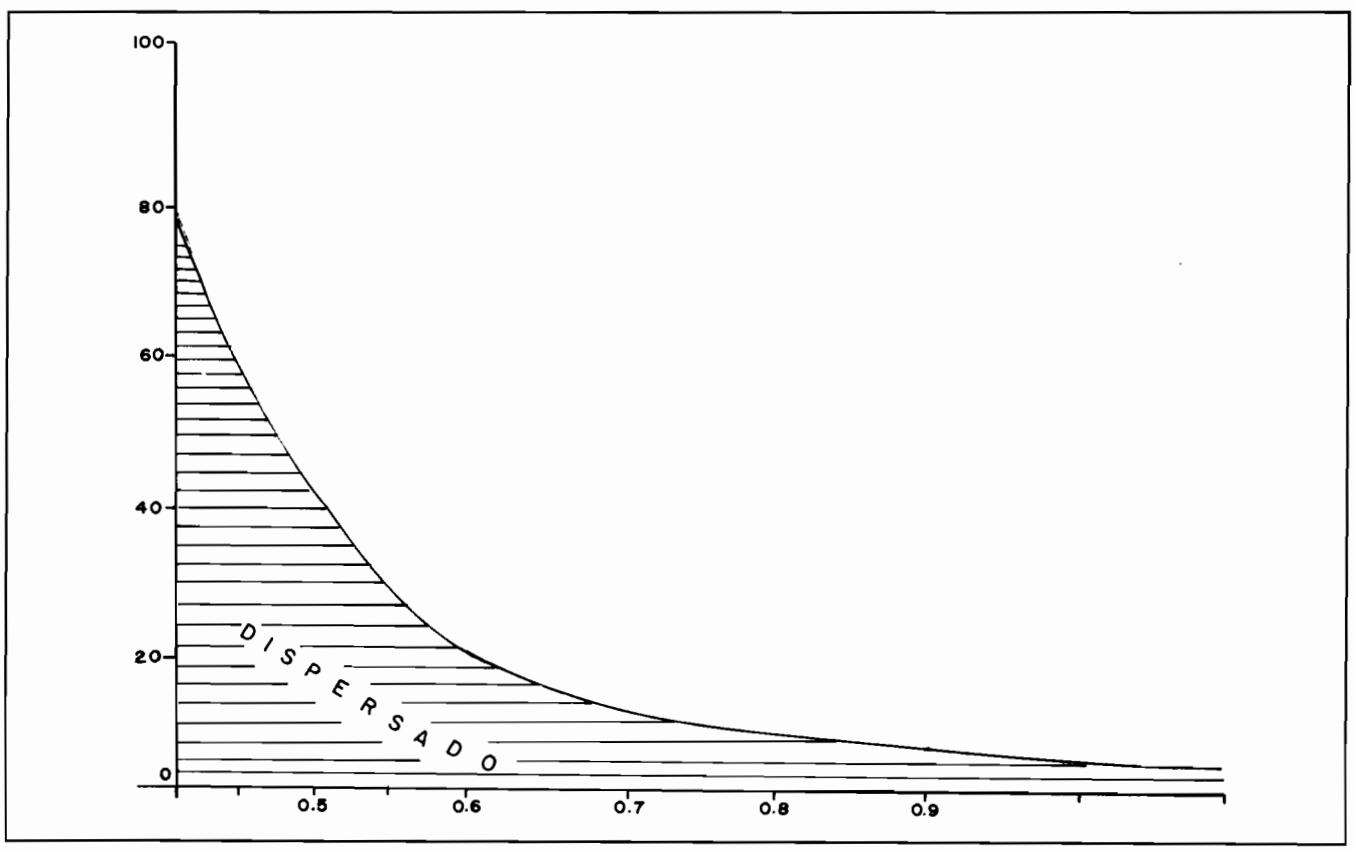


FIGURA 2.16 Dispersión Raleigh

En el caso del rojo del atardecer y del amanecer, por la posición muy baja del sol a esa hora, la luz pasa tangencialmente a través de una columna mucho más gruesa de la atmósfera y por ello solo se puede observar las radiaciones de mayor longitudes de onda. (rojo, naranja, amarillo) que tiene mayor penetración, sin sufrir atenuación por efecto de la dispersión Raleigh, por ello el ojo humano, puede observar solo los colores rojo o naranja de la luz solar.

En algunos casos,cuando la atmósfera, tiene concentraciones variables de polvo fino o gotas de agua minúsculas pueden dar lugar a variaciones en el color de los atardeceres.

La dispersión Raleigh es un proceso que domina en la atmósfera alta entre los 5000 m y 10000 m de altura.

Debido al efecto de la dispersión Raleigh, el azul y el ultravioleta son fuertemente dispersados, y por ello no son utilizables en percepción remota, ya que las imágenes que se obtienen utilizando estas longitudes de onda, tienden a registrar más el brillo de la atmósfera que el mismo brillo de los objetos. Por esta razón en la mayoría de los sensores remotos se excluyen estas radiaciones, ya sea disminuyendo la sensibilidad de las películas a estas longitudes de onda o utilizando filtros.

Debido a que la dispersión Raleigh, ocurre en una atmósfera, donde existe ausencia de contenido de impurezas, y solo predominan gases atmosféricos, la dispersión Raleigh es también conocida como dispersión de atmósfera pura o limpia

Dispersión Mie Este tipo de dispersión es producida por partículas de polvo, gotas de agua, polen, residuos industriales, humo, de diámetro comparable o iguales a las longitudes de onda, que provocan este efecto.

Las longitudes de onda que son afectadas por la dispersión Mie, son las del espectro visible y el infrarrojo cercano, siendo más efectivo en la atmósfera baja, entre los 0 a 5000 metros, por existir en ella mayor concentración de partículas más grandes, que se las denomina Partícula Mie.

2.8.1.1.2 **Dispersión no selectiva.-** Como su nombre lo indica, este tipo de dispersión es totalmente independiente de la longitud de onda y es causada por partículas de diámetros mucho más grandes que las longitudes de onda de la radiación dispersada. Gotas de agua con diámetros entre 5 y 100 μm dispersan a todas las radiaciones del espectro visible y el infrarrojo, razón por la que niebla, neblina y nubes aparezcan de color blanco. La intensidad de la dispersión no selectiva es mayor en la atmósfera más baja. (Menor a 3000 m.)

2.8.1.2 **Absorción.-** Cuando la transmisión de la radiación o de la energía en determinada longitud de onda, es fuertemente atenuada o detenida por las diferentes capas de la atmósfera, en su trayectoria hacia la superficie terrestre, debido a la acción de ciertos gases que absorben y reirradian energía electromagnética, se produce el proceso conocido con el nombre de absorción.

La absorción es producida principalmente por la acción de tres gases:

OZONO (O_3), DIOXIDO CARBONICO (CO_2) y VAPOR DE AGUA (H_2O)

El ozono se halla en mayor concentración en la estratósfera entre los 25 y 30 Km. y absorbe radiaciones de longitud de onda corta, de alta energía, principalmente de la región del ultravioleta con valores menores a 0.24 μm. Generalmente se designa a estas regiones del espectro electromagnético, con el nombre de BANDAS DE ABSORCION.

El dióxido de carbono se presenta principalmente en la atmósfera más baja, en concentraciones bajas y absorbe radiaciones correspondientes al infrarrojo medio y lejano, con un máximo entre las longitudes de onda de 13 a 17 μm. (Fig.2.12 y 2.17)

El vapor de agua que es muy común en la atmósfera baja en cantidades que varian entre el 0 y el 3% por volumen. A diferencia de los otros gases, la cantidad del vapor de agua, varia mucho de tiempo en tiempo y de lugar a lugar. Así en las regiones de desierto el contenido de agua puede ser ínfimo, pero de gran significado en climas húmedos.

Las bandas de absorción más importantes donde el vapor de agua produce absorción se hallan entre los 5.5 y 7.0 μm y en la región por encima de los 27 μm.

2.8.1.3 **Ventanas atmosféricas.-** Se ha demostrado que la atmósfera, no es totalmente transparente a la radiación electromagnética, ya que la presencia de los gases nombrados anteriormente impiden que algunas radiaciones, puedan viajar libremente por la atmósfera, en otras palabras la transmisión de estas radiaciones es bloqueada, evitando que ellas alcancen la superficie terrestre. Sin embargo ciertas regiones del espectro electromagnético pueden ser transmitidas a través de la atmósfera sin que ellas sean absorbidas o bloqueadas. (Fig. 2.14 - 2.17 - 2.12)

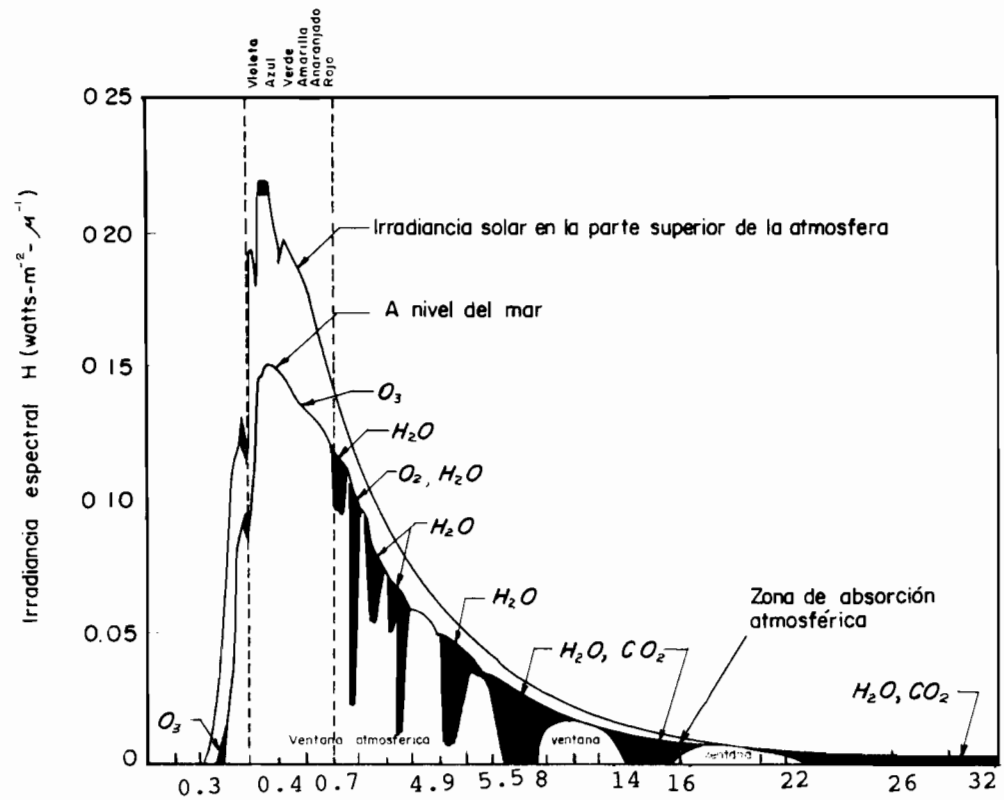
Esto demuestra que existe una transmisión selectiva de la atmósfera para ciertas longitudes de onda, que se las denomina Ventanas atmosféricas.(Fig. 2.17)

Una ventana atmosférica puede ser definida como aquella región del espectro ubicada entre dos bandas de absorción atmosférica. La extensión, ubicación y efectividad de una ventana atmosférica está determinado por el espectro de absorción de los gases atmosféricos.

La figura 2.12 muestra las relaciones entre las bandas de absorción y las ventanas atmosféricas con las curvas de distribución de la energía emitida por el sol y la superficie terrestre, que son las principales fuentes de energía utilizadas en percepción remota. Esta figura muestra que dos de las ventanas atmosféricas, coinciden con los picos máximos de las curvas correspondientes a la radiación solar y a la emisión de la tierra 0.5 y 9.8 micrones respectivamente y ellas son las ventanas atmosféricas más importantes para su uso en percepción remota.

Las ventanas atmosféricas definen las longitudes de onda, que se debe utilizar para la formación y registro de imágenes, y es muy importante recalcar que esas longitudes de onda son las únicas que pueden ser utilizadas en percepción remota, ya que aquellas longitudes de onda que no se hallan en el rango de una ventana atmosférica, su energía es totalmente atenuada y afectada por los efectos de la atmósfera. Por ejemplo el rango entre 3.0 a 7.0 micrones que corresponde al infrarrojo lejano, es una zona que no puede ser utilizada en su totalidad debido a la fuerte absorción del vapor de agua para esta banda, que ocasiona una fuerte atenuación de esa energía. Sin embargo dentro la indicada zona existe una banda muy estrecha, entre los 3.5 a 4.1 micrones, que es muy importante en percepción remota.

Volviendo a la figura 2.12, es importante notar la interacción y dependencia entre las fuentes primarias de energía electromagnética, las ventanas atmosféricas, y la sensibilidad espectral de los sensores que detectan y registran la energía para convertirla en información digital o gráfica. Esto muestra que no es posible seleccionar un sensor remoto para realizar un estudio determinado, si no se ha considerado previamente varios condicionamientos, tales como el rango de sensibilidad que debe tener el sensor remoto a utilizar, la presencia o ausencia de ventanas atmosféricas en el rango espectral con el que se desea operar, la fuente, magnitud y composición espectral de la energía en el rango que se desea operar y por último conocer como esta energía interactúa con los rasgos y materiales de la superficie terrestre que se investigarán.



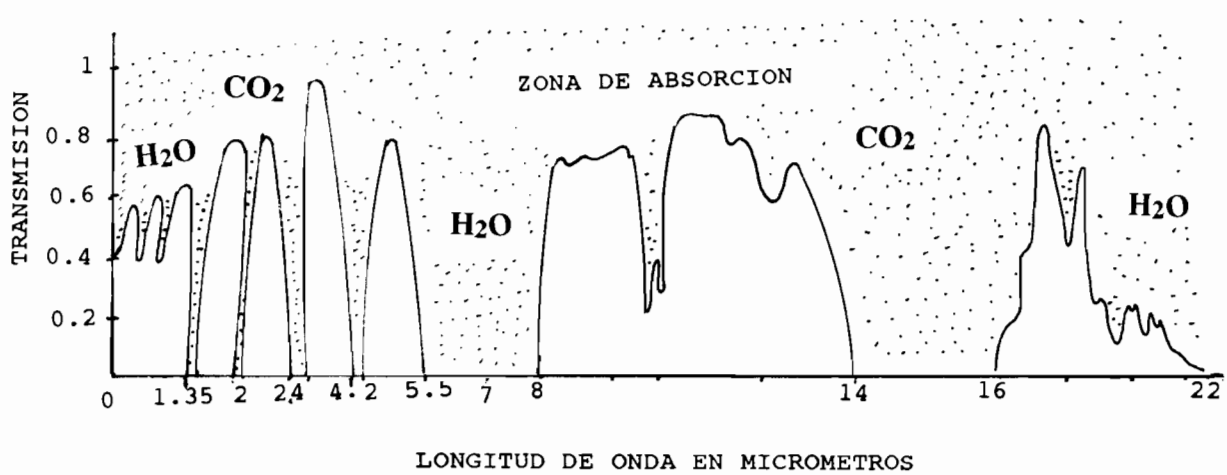


FIGURA 2.17 Transmisibilidad y absorción de la atmósfera. Ventanas atmosféricas

A continuación en el cuadro 2.10 se presentan las principales ventanas atmosféricas.

C U A D R O 2.10

VENTANAS ATMOSFERICAS

REGION	BANDA
Ultravioleta y E. visible	0.30 - 0.75 μm
Infrarrojo cercano	0.77 - 1.35 μm
Infrarrojo medio	1.55 - 1.75 μm
	2.05 - 2.4 μm
Infrarrojo Lejano o Termal	8.0 - 9.2 μm
	10.2 - 12.4 μm
Microondas	7.5 - 11.5 μm
	20.0 + μm

2.8.1.4 **Refracción.-** Cuando un rayo de luz pasa a través de un medio a otro de densidades diferentes, su dirección de propagación se altera y el rayo parece doblarse o desviarse.Este doblamiento o desviación del haz de rayos se llama refracción.

Este fenómeno también ocurre cuando la luz pasa a través de las capas de la atmósfera de diferentes valores de temperatura, contenido de humedad que influye en los valores de las densidades de estas capas, las que a su turno causan la desviación de los rayos de luz cuando pasan de una capa a otra.

Las leyes de refracción son dos: La primera establece que el rayo incidente, la normal y el rayo refractado está en el mismo plano.

La segunda ley, llamada **Ley de Snell** dice: En la luz monocromática (de una sola longitud de onda), la razón del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refracción, es constante (Fig. 2.18)

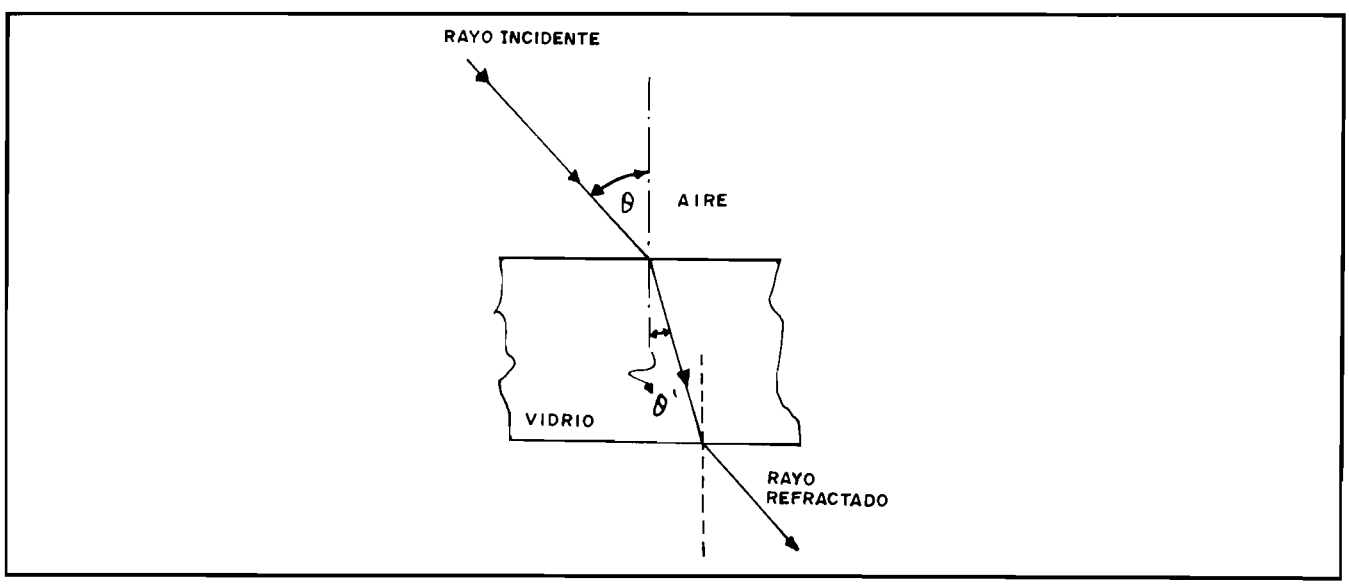


FIGURA 2.18 Refracción

De esta ley se establece el concepto de **Indice de Refracción** (n) que es definido como la relación entre la velocidad de la luz en el vacio (c) y su velocidad en el medio (cn):

$$n = c/c_n$$

Si se asume que la luz pasa de un medio menos denso y uniforme a otro más denso, el rayo es desviado hacia la superficie normal. En la figura 2.18 se representa con una línea segmentada a la línea perpendicular a la superficie en el punto donde la luz entra al medio más denso. El ángulo θ esta dado por la Ley Snell.

$$n \text{ sen } \theta = n' \text{ sen } \theta'$$

n y n' = índice de refracción de los dos medios
θ y θ' = ángulos medidos con respecto a la superficie normal en los dos medios de densidad diferente.

Cuando un rayo de luz, pasa a través de un material de alto índice de refracción y penetra en otro de menor índice, parte de este rayo se refracta en algunos casos en forma paralela a la superficie del medio; el ángulo con el que se refracta bajo esa condición se llama ANGULO CRITICO. (Fig. 2.19). Si el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo crítico, el haz no penetrará el nuevo medio y será reflejado hacia el medio original.

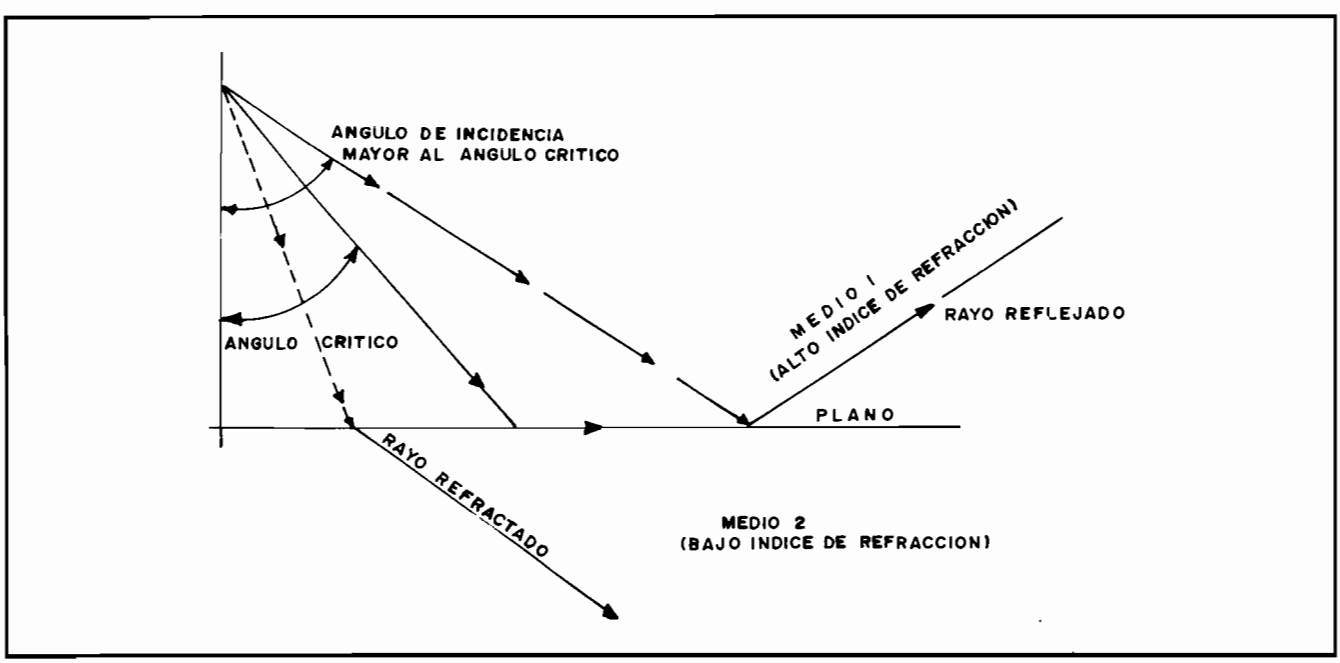


FIGURA 2.19 Angulo crítico de refracción

2.8.2 Interacción con los materiales de la superficie terrestre

Para entender como los datos que han sido colectados mediante sensores remotos, pueden ser utilizados para reconocer e identificar los diferentes materiales de la superficie terrestre, es necesario conocer la interacción que existe entre la radiación electromagnética y los materiales cuando ellos se encuentran, para luego seguir su trayectoria hacia el detector.

Cuando se habla de los materiales de la superficie terrestre, el término incluye tres importantes componentes: agua, vegetación y materia inorgánica principalmente, rocas, minerales y suelos. Para el geólogo, es importante conocer la interacción entre rocas y minerales con la radiación electromagnética, debiendo considerar para ello los tres rangos principales de longitudes de onda, utilizados para su detección y registro:

a) 0.4 a 2.5 μm (Espectro visible e infrarrojo cercano y medio).

b) 8.0 a 14.0 μm (Infrarrojo lejano o termal)

c) 1 mm a 30 cm. (Microondas).

La energía detectada por los sensores remotos es una función de las características de la fuente de energía y de los materiales con los cuales va a interactuar.

Las radiaciones de cualquier longitud de onda, que se pone en contacto con los materiales de la superficie terrestre puede ser transmitida a través del material, absorbida y reradiada en otras longitudes de onda, reflejada por su superficie, y dispersada por las partículas constituyentes. En la naturaleza todas estas posibilidades pueden existir en forma combinada y en cualquier grado de intensidad. (Fig. 2.23)

2.8.2.1 **Reflexión.-** Debido a que la mayoría de los sensores remotos operan con longitudes de onda en las que la energía reflejada predomina, es muy importante considerar las propiedades de reflectancia de los materiales y relieve de los rasgos de la superficie terrestre.

La reflexión ocurre cuando un rayo de luz al incidir sobre una superficie no transparente, es re-direccionada en sentido opuesto a su trayectoria original. La naturaleza de la reflexión depende fundamentalmente del tamaño de las irregularidades del microrelieve de las superficies (superficie áspera o suave) en relación a las longitudes de onda de las radiaciones incidentes sobre dicha superficie.

De acuerdo a las condiciones anteriormente señaladas, existen dos tipos de reflexión:

a) REFLEXION ESPECULAR

b) REFLEXION DIFUSA

2.8.2.1.1 **Reflexión especular.-** La reflexión especular también llamada de espejo; refleja casi todas las radiaciones incidentes en una sola dirección, siempre que la superficie tenga dimensiones menores en su rugosidad a la mitad del valor de la longitud de onda incidente en dicha superficie.

Este tipo de reflexión ocurre de manera muy general en superficies planas y suaves sin irregularidades, como cuerpos de agua muy tranquilos, relieve plano del terreno, espejos, metales suaves.

Las leyes generales de la reflexión se aplican a la reflexión especular, tal como si correspondiera a los rayos que se reflejan desde un espejo. En este caso el haz reflejado tiene casi todas las mismas características del rayo incidente. El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la

superficie se encuentran en el mismo plano. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. (Fig. 2.20).

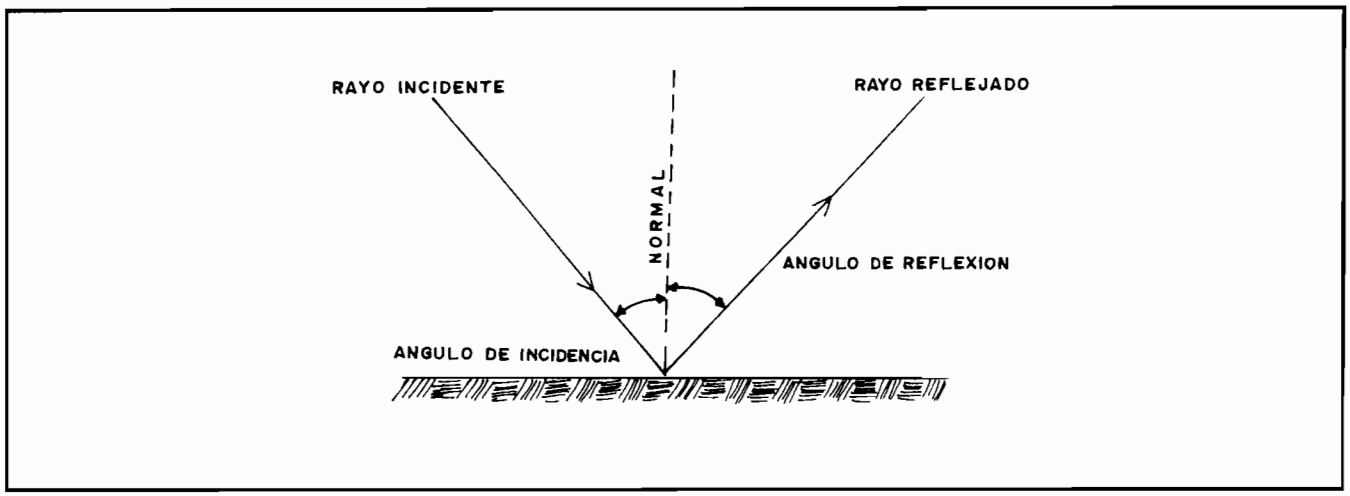


FIGURA 2.20 Reflexión especular

2.8.2.1.2 **Reflexión difusa.-** Otra clase de reflexión es la Difusa que ocurre cuando la radiación electromagnética incide en una superficie rugosa que aproximadamente es igual o de mayor magnitud que la longitud de onda involucrada en dicha radiación, reflejándola en todas direcciones, es decir que el ángulo de reflexión es diferente al ángulo de incidencia. (Fig. 2.21).

Muchas superficies se comportan con la radiación visible como reflectores difusos. Un reflector difuso perfecto, más conocido como Superficie Lambertiana, tiene igual brillo cuando es observado desde cualquier ángulo. Una de las leyes de Lambert establece que el brillo percibido o Radianza de una perfecta superficie difusa no cambia con el ángulo de vista. Este concepto es muy utilizado en percepción remota, para demostrar el comportamiento óptico de muchas superficies naturales. Sin embargo es más común encontrar en la naturaleza, muchas superficies que no son Lambertianas. El brillo de una superficie difusa es una función de la rugosidad de la superficie en relación con la longitud de onda y el ángulo de iluminación.

La mayoría de las superficies en la tierra, no presentan solo un tipo de reflexión, se observa con mayor frecuencia un comportamiento combinado, dando lugar a que tanto la reflexión especular como difusa, ocurran combinadas en un área. Sin embargo se hace notar que la designación de una superficie como rugosa o suave, se halla en función de la longitud de onda de la energía incidente. Ello significa que una superficie plana cubierta por arena puede comportarse como una superficie rugosa con las longitudes de onda del espectro visible, por el contrario para longitudes de onda del rango de las microondas o radio se comportará como una superficie especular.

En percepción remota es más importante la reflexión difusa que la reflexión especular, porque ella contiene información espectral, relacionada con el color de las superficies reflectantes.

Por ello es necesario conocer las propiedades de la reflectancia difusa de los diferentes materiales de la superficie terrestre, ya que las características de reflectancia pueden ser cuantificadas, calculando la cantidad de la energía incidente que es reflejada. Esta medida es una función de la longitud de onda y se la conoce como REFLECTANCIA ESPECTRAL, se ha expresado en porcentajes de acuerdo a la siguiente fórmula:

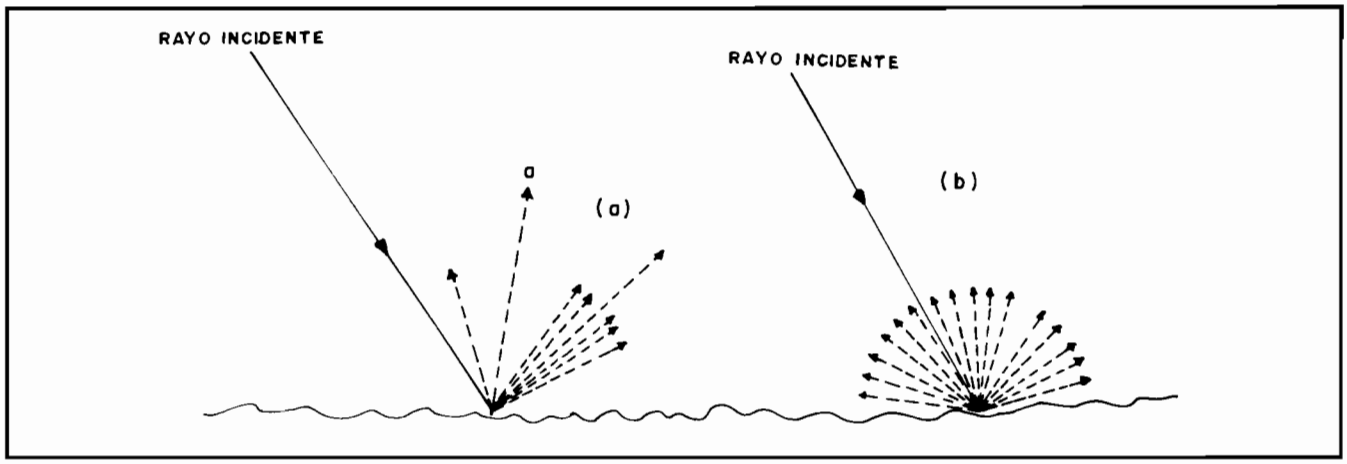


FIGURA 2.21 Reflexión difusa (a). Superficie Lambertiana (b).

$$R = ER / EI$$

ER = Energía de longitud de onda reflejada del objeto
EI = Energía de Longitud de onda incidente del objeto

La figura 2.22 muestra un modelo generalizado de varias curvas de reflectancia de algunas rocas. La experiencia muestra que en algunos casos es posible realizar la identificación, el mapeo y estudio de algunos rasgos y materiales de la superficie terrestre utilizando las características espectrales de esos objetos. Por ello es importante conocer y entender las características espectrales de los materiales, para poder utilizar con eficiencia los datos obtenidos mediante sensores remotos.

Cuando se observa fotografías aéreas u otro tipo de imágenes registradas por otros sensores, es posible apreciar en ellas, diferencias de brillo entre los objetos y materiales registrados. El conjunto de observaciones y medidas que se realiza en base a esa característica de reflexión, constituye un modelo o diseño de Respuesta Espectral, que generalmente es conocido como la RUBRICA O FIRMA ESPECTRAL de un objeto.

A través de la rúbrica espectral, es posible identificar algunos rasgos y materiales de la superficie terrestre, como tipos de bosques, suelos, y con mayor dificultad algunos tipos de rocas y minerales. Sin embargo se debe remarcar que el estudio separado de las propiedades espectrales, no constituye la parte más importante de la percepción remota, ya que existen otros métodos de interpretación que ofrecen información más esencial.

2.8.2.2 **Absorción.-** Todos los materiales de la superficie terrestre absorben y reflejan en cantidades variables, las diferentes radiaciones, fundamentalmente en función de la longitud de onda y de las propiedades del material, en especial de su constante dieléctrica.

Los cuerpos de agua en su interacción con la radiación electromagnética, se comportan de diferentes maneras en función de la longitud de onda con la cual interactúan. Así en el caso de su interacción con el espectro visible, la cantidad de luz reflejada por la superficie del agua, depende del ángulo de iluminación y de la presencia de oleaje. El agua tiene una alta transmitancia para el espectro visible, siendo más alta cuanto menor es la longitud de onda. En aguas profundas, solo la luz azul penetra hasta cierta profundidad, el resto de las radiaciones del espectro visible son absorbidas cerca de la superficie.

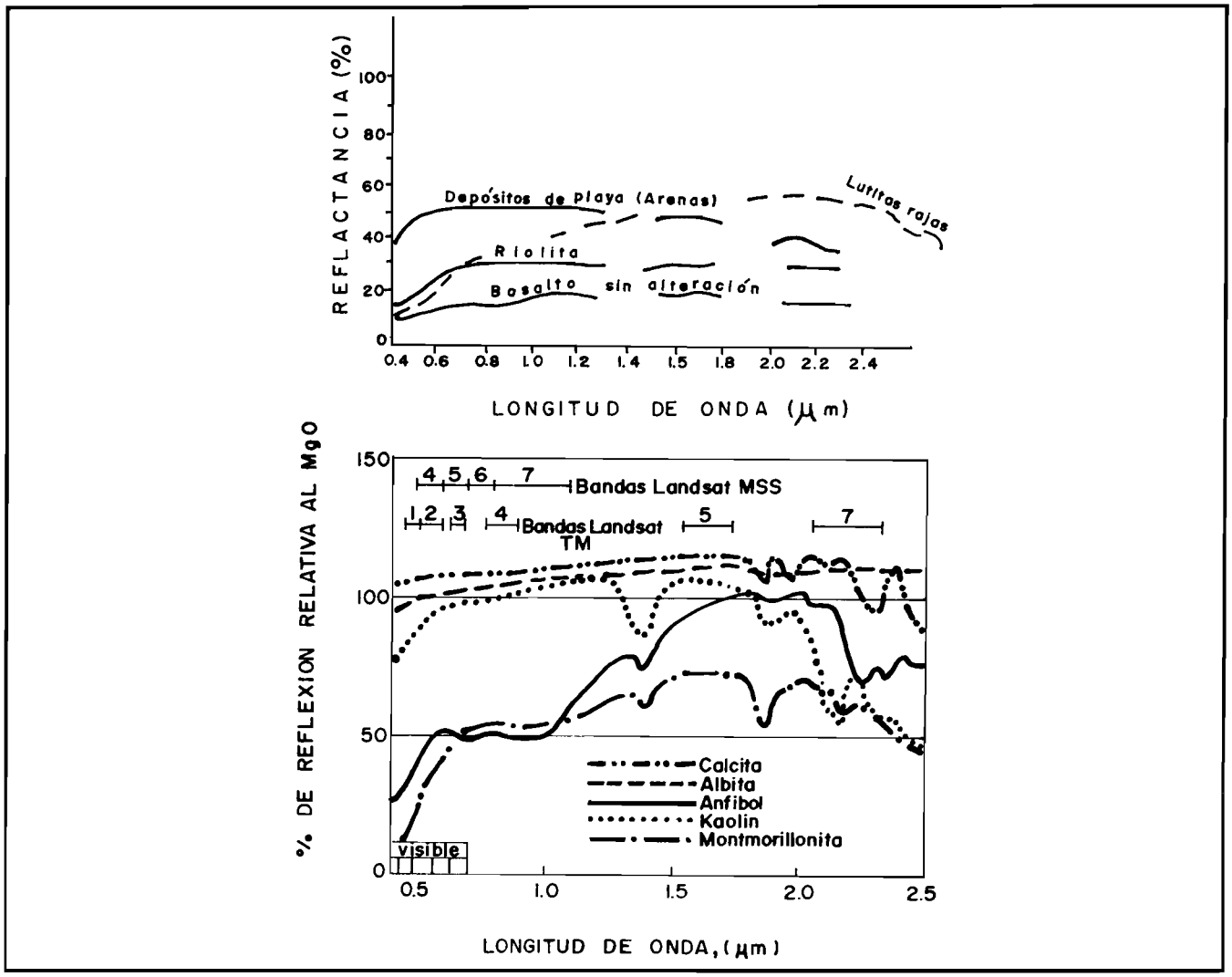


FIGURA 2.22 Reflactancia espectral de algunas rocas, las partes interrumpidas de las líneas, señalan regiones de absorción atmosférica

A profundidades mayores de 40 m. todas las longitudes de onda son absorbidas y los cuerpos de agua aparecen oscuros. El contenido de sedimentos en suspensión, plancton, aumentan la reflectancia.

Con las radiaciones del infrarrojo cercano ocurre todo lo contrario, estas radiaciones son totalmente absorbidas por el agua registrándose en tonos oscuros, y pueden ser diferenciados fácilmente de otros materiales.

El agua es un buen emisor y absorbente de las radiaciones del infrarrojo, casi comparable al cuerpo negro, ello permite calcular la temperatura de los cuerpos de agua, si se realizan medidas del infrarrojo emitido en la banda de 8 a 14 μm.

El contenido de agua en los poros de suelos y rocas aumentan la humedad de ellos, disminuyendo su reflectancia, por ello el registro de suelos y rocas humedecidas es de tonos más oscuros que cuando se hallan secas.

La interacción de la radiación electromagnética que corresponde al espectro visible con la vegetación es muy importante, ya que todo el proceso que las plantas realizan para convertir el agua y dióxido de carbono, en carbohidratos y oxígeno a través del proceso de fotosíntesis, lo hace

utilizando energía solar. El catalizador para la fotosíntesis es la clorofila cuya función es la de absorber la radiación solar, que corresponde a las longitudes de onda entre los valores 0.45 del azul a 0.68 μm del rojo, en la región del espectro visible. Este proceso es la causa para que la vegetación sana, obtenga el color verde en sus diferentes matices. Cuando la clorofila se vuelve inestable a cierta temperatura, y a objeto de protegerse de dicho efecto termal, las plantas tienen los medios para producir un balance en su energía, y ello lo consiguen a través de una fuerte acción de reflexión de la radiación del infrarrojo cercano. Para ello cuenta con una estructura interna celular que hasta el 50 por ciento de la radiación incidente del infrarrojo cercano es reflejada internamente y el resto es transmitida directamente a través de las hojas.

La hoja de una planta refleja y transmite la radiación incidente en diferentes porcentajes, más o menos muestran una alta absorción del ultravioleta, azul y rojo; reducida absorción del verde; absorción muy baja junto con alta reflexión y transmisión del infrarrojo cercano, muy alta absorción del infrarrojo lejano o termal.

Las formas y tamaños diferentes de las hojas, permiten una rápida diferenciación e identificación de ellas al utilizar películas infrarrojas. Así en los bosques de hojas anchas y sanas, las radiaciones del infrarrojo cercano son altamente reflejadas. Por el contrario los bosques de coníferas sanos reflejan muy poco al infrarrojo cercano.

En el caso de la vegetación marchita, enferma, o atacada por algún insecto o virus, las hojas para protegerse reducen sus espacios intercelulares, ocasionando una menor reflectividad del infrarrojo. Esta es una de las razones por las que la vegetación marchita y/o enferma se registre en tonos oscuros a negros cuando se utilizan películas infrarrojas.Por el contrario la vegetación vigorosa se registrara en tonos casi blancos. (modelo estereoscópico 112)

La interacción que ocurre entre la radiación electromagnética con rocas, minerales y suelos es mucho más compleja por las condiciones y características que presentan, las cuales se hallan relacionadas con su composición, asociaciones, espesores, tipo y grado de alteración y meteorización, estratificación, extensión de afloramiento, aspectos estructurales, etc.

Sin embargo dos propiedades son comunes a ellas, la primera tiene que ver con la reflexión de la energía incidente y la segunda se halla relacionada con la emisión de energía y las temperaturas superficiales, que en percepción remota pueden ser detectadas y analizadas en base a sus propiedades físicas, tales como: la reflectividad espectral en el espectro visible y el infrarrojo cercano, la inercia termal, la emisividad espectral en el infrarrojo lejano o termal, y en algunos casos como en rocas alteradas en la emisión espectral de los rayos gama.

Para ello se deben considerar los rangos de las longitudes de onda en las cuales las radiaciones que son reflejadas o emitidas pueden ser detectadas. Estos rangos corresponden a los siguientes valores: 0.4 a 2.5 μm (visible e infrarrojo cercano), 8 a 14 μm (infrarrojo lejano o termal) y 1 mm a 30 cm. (microondas).

2.8.2.3 **Transmisión.-** La transmisión de la radiación ocurre cuando la radiación pasa a través de una substancia sin sufrir mucha atenuación. Generalmente cuando se trata de radiación que corresponde a la del espectro visible, se puede hablar de substancias transparentes, como los cuerpos de agua, que transmiten cantidades importantes de esta radiación. Sin embargo existen substancias que pueden ser opacas para la radiación del espectro visible que no lo son para otras radiaciones

como el caso de las hojas de las plantas que pueden transmitir también cantidades importantes de radiación infrarroja.

La habilidad que tiene una substancia de determinado espesor, para transmitir energía que puede ser cuantificada se llama transmitancia y se la expresa mediante la siguiente fórmula:

t = radiación transmitida/ radiación Incidente

2.9 SISTEMA PARA LA OBTENCION DE DATOS EN PERCEPCION REMOTA

A través de los anteriores conceptos, leyes y principios que se han discutido en estos capítulos, se cuenta con los elementos necesarios para establecer y conceptualizar, los componentes básicos que debe tener un sistema para la obtención de datos en percepción remota. De acuerdo a ello, un sistema de detección y registro de datos, que utilice radiación electromagnética, se halla constituido por los siguientes componentes:

a) Una fuente uniforme de radiación de energía (Fig. 2.23)

b) Trayectoria de la radiación por la atmósfera.(Interacción de la energía radiada con la atmósfera) (Fig. 2.23)

c) Objetos del terreno (Interacción de los materiales de la superficie terrestre con la energía)

d) Un sensor remoto (Detección y registro de la energía)

e) Procesamiento y salida de datos

a) **Fuente de radiación de energía**.La fuente de radiación, debe suministrar energía en diferentes rangos de longitud de onda. En el caso de los sistemas pasivos, la fuente primaria de radiación es la que proviene del sol o la emitida por la superficie terrestre, en la región del infrarrojo lejano o termal. (Fig. 2.23). Una fuente activa, correspondería a la producida por medios artificiales, como las del sistema radar que opera en la región de las microondas.

b) **Trayectoria de la radiación a través de la atmósfera** La radiación proveniente del sol al propagarse por la atmósfera, sufre modificaciones en la intensidad y su distribución espectral, al ser reflejada, refractada, dispersada o absorbida en su interacción con la atmósfera. (Fig. 2.23)

c) **Objetos del terreno** La radiación luego de su trayectoria por la atmósfera, alcanza la superficie terrestre, interactúa con los materiales de la superficie y luego es reflejada, transmitida o absorbida. Estas interacciones generan energía que es reflejada o emitida, que no solamente es selectiva con referencia a una determinada longitud de onda, sino que es única para cada tipo de material o rasgo de la superficie terrestre.

d) **Retorno de la radiación reflejada o emitida por los objetos a la atmósfera** Una vez que la radiación interactúa con los materiales de la superficie terrestre, retorna a la atmósfera, para ser detectada por un sensor instalado en una plataforma (Avión o satélite). Esta radiación antes de su detección, nuevamente interactúa con la atmósfera.

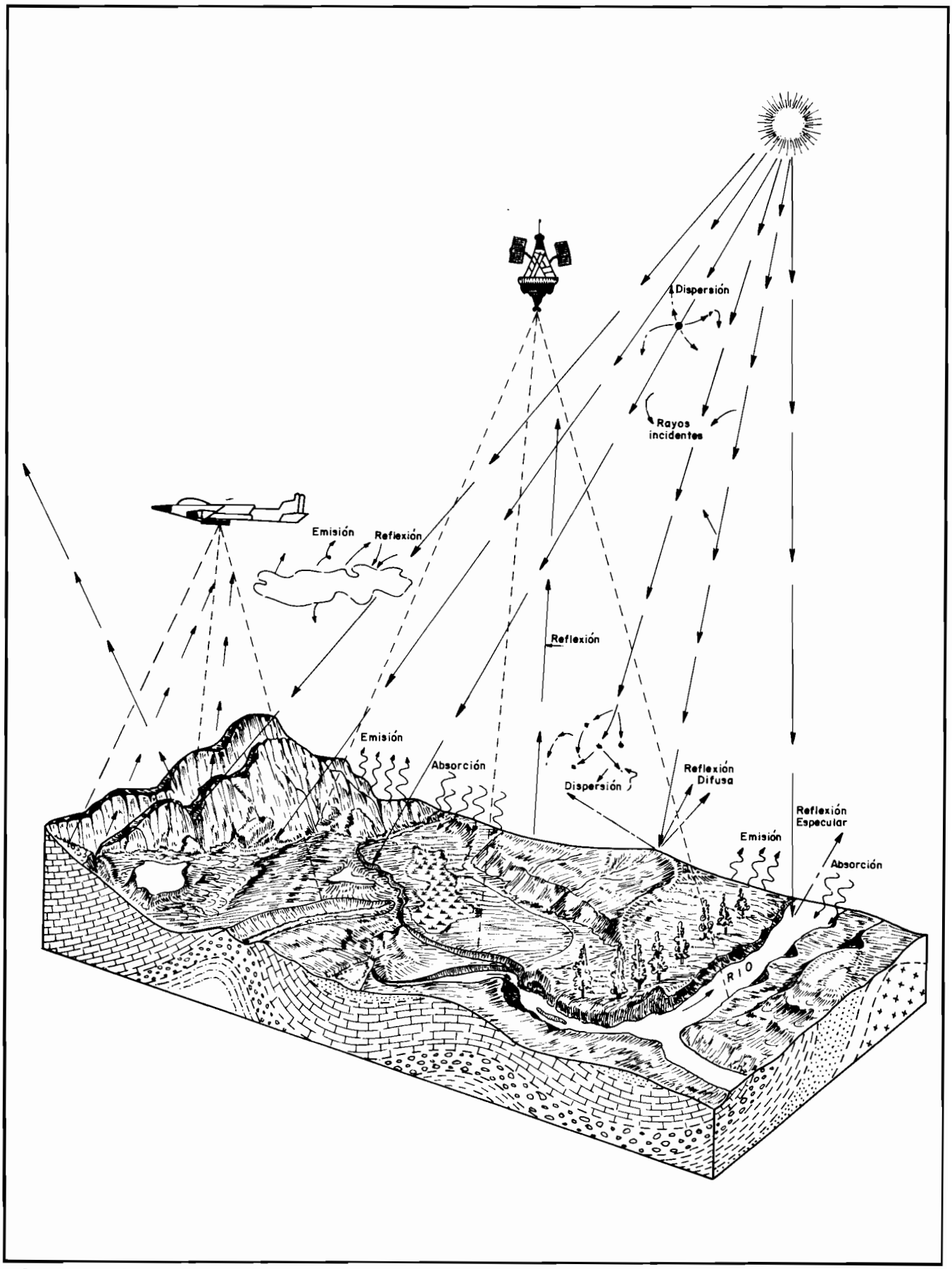


FIGURA 2.23 Interacciones de la radiación electromagnética con la atmósfera en la superficie terrestre.

e) **El sensor remoto** Las radiaciones son detectadas y registradas por un sensor que debe ser altamente sensible a las longitudes de onda, para las que ha sido diseñado. Por ejemplo una cámara fotográfica registra la radiación que es reflejada directamente del terreno a la cámara, registra la radiación que es dispersada en la atmósfera sin que ella haya alcanzado la superficie terrestre, y por ultimo registra la radiación difusa, que ha sido reflejada del terreno después de haber sido dispersada en la atmósfera. Estas tres formas de radiación son las que forman la imagen en la cámara fotográfica.

Como se indicó anteriormente, la altura de la toma fotográfica, influye en la capacidad del sensor para separar o individualizar las tres formas en las que llega la radiación a la cámara fotográfica.

Esta diferenciación es posible realizarla a la altura de vuelo normal de un avión y no así cuando se trata de vuelos de satélite.

f) **Procesamiento y salida de datos** Los datos registrados por el sensor, adquiridos en aviones o satélites, pueden ser presentados de dos maneras diferentes:

a) Gráfico

b) Digital.

El **registro gráfico** generalmente se realiza con emulsiones o películas fotográficas o en pantallas de televisión.

El **registro digital**, se caracteriza porque los datos se hallan integrados por elementos discretos de imagen, más conocidos como Pixel, que radiométricamente se halla cuantificado en niveles discretos de brillo. La ventaja de estos datos es que ellos pueden ser procesadas por sistemas de computación, con el propósito de extraer información o mejorar la imagen que se quiere reproducir por este método, para utilizarla en la interpretación visual de la misma (Fotos 1.2 y 1.5).

SENSORES REMOTOS

CAPITULO III

3.1 INTRODUCCION

Los sistemas de instrumentación en Percepción Remota, han sido diseñados para registrar radiaciones en una o más regiones del espectro electromagnético. Los instrumentos utilizados para este fin son denominados sensores remotos.

Un **sensor remoto** es un instrumento, que registra radiación electromagnética reflejada o emitida por la superficie terrestre, generalmente instalado en aviones o satélites, con el propósito de obtener información sobre las propiedades de los objetos, sin entrar en contacto directo con ellos.

Hay cuatro tipos principales de sensores remotos que en su mayoría registran "radiación reflejada" o "emitida" por la superficie terrestre, sujetos a modificaciones por la interferencia de la atmósfera.

Los sensores remotos pueden ser clasificados en base a una variedad de criterios, razón por la cual en la literatura existente sobre este tópico, no existe uniformidad de criterios para considerar a una de ellas como única y completa. Por esta razón se presentará una relación de los principales criterios y bases utilizados para las diferentes formas de clasificar a los sensores remotos.

3.2 CLASIFICACION DE LOS SENSORES REMOTOS

Entre los criterios más importantes utilizados para clasificar los sensores remotos, se pueden citar aquellos relacionados con la:

a) Fuente emisora

b) Forma de obtener y entregar la información detectada

c) Ubicación espacial de la fuente emisora y receptora

3.2.1 **Clasificación en función de la fuente emisora.-** Esta clasificación se utiliza cuando se desea establecer si la radiación a detectar por el sensor, es generada por el mismo sensor o utiliza una fuente ajena al mismo. De acuerdo a ello, se clasifican en :

a) Sensores remotos PASIVOS

b) Sensores remotos ACTIVOS

3.2.1.1 **Sensores Pasivos.-** Son aquellos sensores que para operar utilizan la energía emitida por una fuente ajena al sensor, que generalmente es el sol. Entre los sensores pasivos se encuentran la cámara fotográfica, cámaras de televisión, barredores multiespectrales, etc.

3.2.1.2 **Sensores Activos** Corresponden a aquellos sensores, que poseen su propia fuente de energía, la cual es emitida y detectada por el mismo sensor. El sensor activo más utilizado es el Radar Aéreo de Vista Lateral (SLAR), y otros tipos de radar.

3.2.2 **Clasificación en función de la forma de obtener y entregar la información detectada. -** De acuerdo a la forma en que los sensores remotos, obtienen información pueden ser clasificados en dos grupos, que son referidos o definidos como:

a) Sistemas de sensores con registro de información espectral

b) Sistemas de sensores formadores de imagen

3.2.2.1 **Sistemas de sensores con registro de información espectral.-** Este sistema de sensores generalmente no forma imágenes, sinó entrega una información espectral detallada sobre él o los objetos registrados. Es más utilizado en el campo de la investigación, especialmente cuando se quiere conocer además de una clasificación general de datos multiespectrales de una escena que incluya vegetación, suelos, rocas y agua, datos espectrales más específicos, como el separar o diferenciar varias clases espectrales de un determinado tipo de material. (tipos específicos de cultivo, rocas, etc).

Generalmente los datos así obtenidos, requieren ser comparados con datos tomados en el mismo terreno, para realizar la calibración de los sensores, ubicados en las plataformas aéreas. (aviones, satélites, etc).

Existe una variedad de términos que se utilizan, para definir alguna característica especial de estos instrumentos, que generalmente consisten de combinaciones de dos o más palabras, que en ciertos casos no son muy consistentes.

Ellas son utilizadas como sufijos o prefijos, para formar el nombre del sensor; pudiendo mencionar a las siguientes:

metro = Tĕrmino que es utilizado para significar una medida que es indicada pero nó necesariamente registrada.

gráfico = Utilizado para indicar que una medida es registrada en forma de una imagen o cuadro.

radio = Utilizado para referirse a la radiacion electromagnética en general.

foto = Utilizado para referirse a la radiación del espectro visible.

espectro = Se refiere a la división de la radiación de acuerdo a los componentes armónicos simples de la radiación

escopio = Se refiere a la observación de la radiación, mediante la vista a través de un diseño especial.

Entre los sensores remotos que pertenecen a este grupo, se hallan los **Radiómetros** y **Espectrómetros**, que de acuerdo a la forma que registran las radiaciones solares, o a otras características propias de los sensores, reciben diferentes nombres.

A continuación se presenta las características y principios generales de estos sensores.

3.2.2.1.1 **Radiómetros.-** Son sensores que miden o cuantifican algunas propiedades, de la radiación incidente, como la intensidad de radiación, que corresponde a longitudes de onda específicas.

De acuerdo a estas consideraciones, un RADIOMETRO, es un término genérico, para referirse a aquel sensor, que fué diseñado para medir alguna propiedad de la radiación incidente. En un sentido más específico es un sensor diseñado para medir la irradancia o radianza en una determinada banda espectral, que relativamente es más angosta que las que miden los espectrómetros. Entre los radiómetros más importantes que detectan radiaciones en diferentes regiones del espectro electromagnético se hallan los siguientes: **Radiómetros Infrarrojos**, **Radiómetros de Microondas** y **Radiómetros Ultravioletas.**

Radiómetro Infrarrojo Los radiómetros infrarrojos, son utilizados en plataformas aéreas (aviones - satélites) para detectar diferencias en temperatura entre superficies con cubierta vegetal y sin vegetación, o las diferencias entre suelos secos y húmedos, entre roca masiva y roca con poca cohesión, etc.

Una desventaja de este sensor, es la incapacidad que tiene la radiación infrarroja, para penetrar nubes, aúnque el campo reducido de vista del sensor, le permite ver entre las separaciones que puedan existir entre nubes.

Los radiómetros infrarrojos son compactos, livianos y muy utilizados en satélites metereológicos. Generalmente miden radiaciones de longitudes de onda entre 8 a 14 μm. Un radiómetro infrarrojo, en general opera del siguiente modo:

a) La radiación es colectada a través de un espejo parabólico con diámetros que varían entre los 9 y 21 cm.

b) La radiación colectada, es luego enfocada hacia un detector ubicado en el plano focal. Las longitudes de onda diferentes se seleccionan mediante filtros, que restringen el intérvalo de longitud de onda que debe llegar al detector.

c) Antes de llegar la radiación al detector, se encuentra un dispositivo especial, llamado Chopper o cortador, que tiene la forma de un disco ranurado, el cual es rotado por un motor. (Fig. 3.1)

La función del chopper o cortador, es interrumpir periódicamente la radiación recibida del objeto, con el propósito de enviar en forma alternada sobre el detector la imagen del objeto y la de un cuerpo negro que corresponde a la fuente interna de referencia del sensor, de manera que el detector mide alternativamente las radianzas del indicado cuerpo y la del objeto del terreno.

La amplitud de la señal puede ser utilizada para determinar la diferencia de radianza entre el cuerpo negro referencia y el objeto del terreno. Como la fuente de referencia, tiene un valor de radianza conocido, es posible calcular la radianza del objeto estudiado. La sensibilidad de registro mínimo de temperatura es de 0.2 °C.

El campo instantáneo de vista (IFOV) está determinado por el sistema óptico y generalmente varía entre 2° a 20°

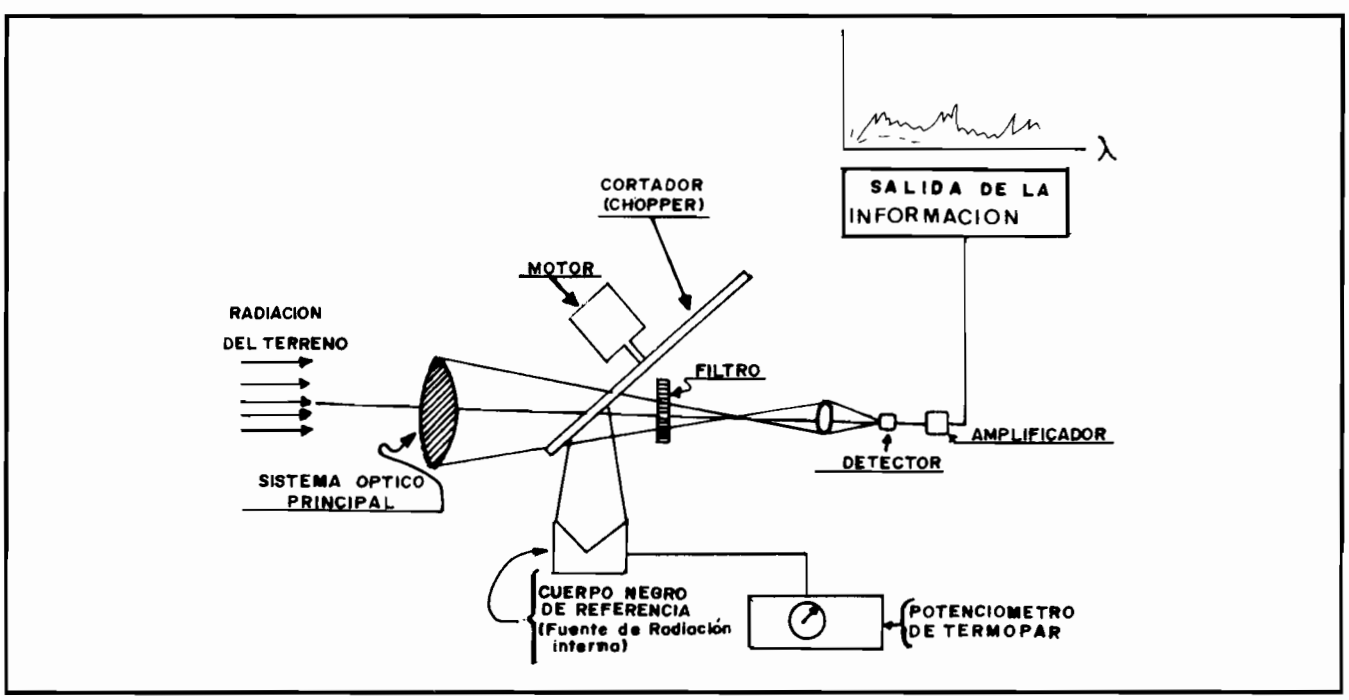


FIGURA 3.1 Diagrama esquemático de un radiómetro infrarrojo

Radiómetro de Microondas A pesar de la mayor longitud de onda de las radiaciónes de microondas en relación a las del infrarrojo lejano o termal, sus emisiones se hallan relacionadas con temperatura y emisividad, de manera casi similar a la radiación termal.

Los radiómetros de microondas, registran la radiación correspondiente a longitudes de onda que van desde 0.1 mm a 3 cm y pertenecen al grupo de los sensores pasivos, que para operar solo utilizan las radiaciones emitidas por la superficie terrestre.

Aunque este sensor opera en la región de las microondas, al igual que el sistema radar; se halla más relacionado con las características y propiedades de los radiómetros infrarrojos.

La radiación que registra, es la correspondiente a la emitida por la superficie terrestre, la cual suministra en forma indirecta información sobre las condiciones de humedad del suelo, sobre la cubierta vegetal, rocas y otros materiales.

Este sensor se halla constituido por una antena, que se halla orientada en dirección de la línea de vuelo del avión y dirigida hacia el terreno.Tiene como función captar la radiación emitida por la superficie terrestre. Esta energía recibida es electrónicamente filtrada, amplificada y luego presentada en forma de datos digitales o como imagen en el caso de los radiómetros de barrido. La amplitud de la señal que recibe es proporcional a la temperatura de la superficie emitente.

Al igual que el radiómetro infrarrojo, utilizan como referencia la temperatura de un cuerpo conocido, para estimar la radianza de los objetos estudiados.

La interpretación de los datos obtenidos mediante este sensor es compleja y requiere del conocimiento de las características del sensor, de las propiedades termales de los objetos sensados, de las condiciones de la atmósfera, etc.

Generalmente este sensor es utilizado por los investigadores, cuando no requieren de una alta resolución espacial, y prefieren observar a través de la atmósfera, a pesar de las pésimas condiciones de tiempo que pudieran existir.

3.2.2.1.2 **Espectroscopios.-** Son instrumentos ópticos que producen un espectro completo, separando a la radiación infrarroja y espectro visible, en diferentes longitudes de onda. Los espectroscópios para realizar la separación espectral, pueden usar prismas, rejillas.

Los prismas separan la longitud de onda por medio de la dispersión refractiva, mientras que las rejillas usan la dispersión difractiva.

Los espectroscopios tipo prisma son los más comunes y pueden resolver longitudes de onda de 10^{-4} a 1.0 μm.

Las rejillas proporcionan una resolución de 10^{-5} μm y las técnicas interferométricas dan una resolución de 10^{-6} μm.

Entre los principales tipos de espectroscópios se hallan el: ESPECTROMETRO y el ESPECTROFOTOMETRO.

El **espectrómetro** es un instrumento básico de medición utilizado para la detección de la radiación en sistemas numéricos orientados, adecuados para su uso con sistemas de procesamiento digitales aplicados en percepción remota.

Este sensor ha sido diseñado para determinar la distribución de la radiación de un rango determinado de longitudes de onda. La separación de la radiación en sus componentes espectrales es realizada mediante el uso de elementos ópticos que tengan una conocida dependencia funcional de la longitud de onda a analizar.

Por ejemplo, la dependencia del índice de refracción en una longitud de onda es utilizada en los espectrómetros de prismas. Este elemento óptico dispersa los rayos paralelos o la radiación colimada en diferentes ángulos desde el prisma en función de la longitud de onda.

El espectrómetro idéntifica substancias por el espectro de la energía que ellas reflejan, absorben o emiten, sin considerar la forma del objeto, como ocurre con la cámara fotográfica.

Un segundo tipo de espectrómetro es el de REJILLA, que se halla constituido por un motor mecánico de velocidad ajustable que hace girar un espejo o rejilla. El ancho de las rendijas se ajustan, para mantener constante el nivel de energía a lo largo de todo el espectro. Tanto rejillas como filtros se cambian automáticamente a una longitud de onda predeterminada.

El gráfico que se obtiene como información es un curva trazada sobre un papel que lleva impresas las escalas de la longitud de onda y transmitancia.

Cuando el espectrómetro utiliza el componente óptico dos veces, con el objeto de conseguir que la radiación pase dos veces a través de él en la misma dirección, se llama espectrómetro de doble pase o doble haz. En este caso, la radiación de la fuente se separa en dos haces, de los cuales la muestra recibe uno y el otro sirve de referencia.

Existe un instrumento básico de medida que es más preciso, para el análisis de la radiación policromática en sus componentes espectrales individuales denominado MONOCROMETRO. El espectrómetro es en esencia un **Monocrómetro** ajustable.

El funcionamiento en la mayoría de los espectrómetros se realiza de un modo general de la siguiente manera:

a) Entrada de la radiación policromática a través de la abertura de entrada del instrumento. (Fig. 3.2). La abertura controla la intensidad de radiación que entra al sensor. En algunos casos es utilizado para controlar el campo de vista de un sistema en percepción remota, en el cual el espectrómetro es un componente.

b) Se realiza el enfoque de la radiación, a través de una serie de sistemas ópticos de enfoque o de colimación, los que pueden ser de tipo reflectivo, de refracción o combinación de ambos.(Fig. 3.2). La velocidad efectiva óptica del sistema y el campo de vista está determinado por el sistema óptico de enfoque o de colimación.

c) En algunos espectrómetros, la radiación pasa a través de un sistema óptico de procesamiento, en el que se forma la señal óptica.

d) Esta señal pasa a través del sector donde la dispersión de la radiación es realizada, ya sea mediante filtros de interferencia, rejillas, primas o cualquier componente óptico cuya característica de transmisión o de reflexión son una función de la longitud de onda de la radiación, que es separada en sus componentes espectrales. (Fig 3.2)

e) Esta radiación es luego enfocada hacia la abertura de salida, la que en algunos casos define el campo de vista del instrumento o su resolución espectral.

f) La radiación luego es detectada, por uno o más detectores, y es convertida en una señal eléctrica amplificada, la que puede ser procesada de diversas maneras para luego ser registrada.

El espectrómetro es un componente básico en varios instrumentos que se utilizan para el análisis espectral. Así un ESPECTROFOTOMETRO, es un instrumento que se halla constituido por un Espectrómetro, y una fuente interna de iluminación, que genera tanto radiación del espectro visible como infrarroja.

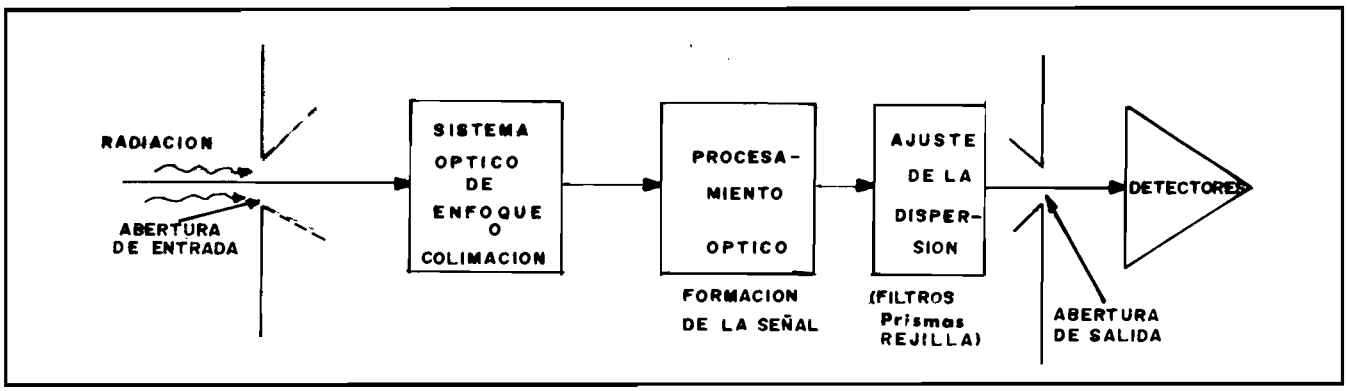


FIGURA 3.2 Diagrama esquemático de funcionamiento del espectrómetro

Si el espectrofotómetro está geométricamente diseñado para captar radiación reflejada del objeto a estudiar, el instrumento se denomina ESPECTROREFLECTOMETRO.

Por el contrario, si capta solo la radiación transmida a través del objeto, para luego ser observada por el espectrofotómetro, el instrumento es denominado ESPECTROTRANSMISOMETRO.

Otro sensor que utiliza solo radiaciones del sol es el ESPECTRORADIOMETRO, que de acuerdo a la forma en que dispersa a la radiación que entra al instrumento en sus componentes espectrales se llama: INTERFEROMETRO, ESPECTRORADIOMETRO DE PRISMAS, y ESPECTRORADIOMETRO DE FILTRO O DE RUEDA.

El espectroradiómetro es utilizado para examinar objetos que se hallan ubicados en su ambiente natural, de manera que los análisis espectrales pueden ser realizados bajo condiciones naturales.

3.2.2.2 **Sistemas de sensores formadores de imágenes.-** Este grupo de sensores, por la aplicación y la versatilidad del manejo de los datos que suministra, especialmente para el uso en la interpretación visual de imagenes, aplicadas al estudio de los diferentes recursos naturales, constituyen por el momento el grupo más importante de sensores. Por ello el conocimiento del principio y funcionamiento de los mismos, es de vital importancia para los especialistas en interpretación de imagenes.

Los sistemas de sensores formadores de imagenes son de dos tipos:

a) Sistemas de registro en formatos individuales (tipo fotografía)

b) Sistemas de barredores lineales

En el sistema de **registro en formatos individuales,** tipo fotografías, se capta en forma simultánea todas las características de un área del terreno, para producir una imagen que corresponde a una forma de **imagen análoga.** Entre los sensores más comunes que pertenecen a este tipo se hallan las cámaras y los sistemas vidicon.

En el sistema de **registro tipo barredores,** se colectan los datos, en forma de pequeñas "parcelas" de la escena en una secuencia regular. Posteriormente esta secuencia de datos es reconstruida para formar una imagen.

Por razones de tipo técnico y de terminología a estas "parcelas" o unidades reales más pequeñas se las denomina elementos-imagen individuales o PIXEL. (Foto 3.1)



FOTO 3.1 Imagen digital ampliada, para apreciar los elementos individuales en forma de áreas cuadradas de brillos varios, denominadas Pixels.

Ambos sistemas formadores de imagen, suministran información espectral, a través de la producción de Pixels multiespectrales que generalmente consisten de un juego de medidas que corresponde a un rango seleccionado de longitudes de onda del espectro. Los datos que en principio son registrados en forma análoga, pueden luego ser digitalizados, ya sea utilizando equipos digitalizadores o microdensitómetros barredores. La ventaja de disponer de datos digitalizados es que ellos pueden ser procesados por computadoras, ya sea para extraer información o para mejorar la imagen que se quiere reproducir, que fundamentalmente es utilizada en la interpretación visual de ellas.

Los sistemas formadores de imagen más importantes son:

a) Barredores lineales

b) Vidicon

c) Fotográfico

d) Radar

3.2.2.2.1 **Sistemas de Barredores Lineales.-** Los barredores lineales, son instrumentos óptico mecánicos, diseñados en principio para encontrar otras posibilidades de mejorar las limitaciones espectrales que para cierto tipo de investigaciones, tienen los sistemas fotográficos y vidicon, y en particular para experimentar con radiaciones de la la región del infrarrojo lejano o termal emitido. Los barredores lineales para obtener imagenes, operan en determinados rangos de longitudes de onda, de una o más regiónes del espectro electromagnético. La formación de la imagen se produce por el barrido lineal del terreno y puede ser realizado de cuatro maneras:

a) Barrido transversal a la dirección de vuelo

b) Barrido paralelo a la dirección de vuelo

c) Barrido circular

d) Barrido lateral a la dirección de vuelo.

3.2.2.2.1.a **Barredores transversales a la dirección de vuelo.-** La mayoría de los sensores utilizados tanto en satélites como en aviones, realizan el registro de imágenes mediante el barrido transversal a la dirección de vuelo. Por ello se describe la forma en que operan este tipo de barredores.

a) Los barredores utilizan como colectores de la radiación un sistema de espejos rotatorios, que recibe la radiación reflejada o emitida por los objetos del terreno. El sistema de espejos tiene un campo instantáneo de vista, (IFOV) de tamaño angular (micrómetros) del orden de miliradianes, que barre a través de un ángulo (θ) al terreno en líneas perpendiculares a la dirección del vuelo. (Fig 3.3 a y c)

   La velocidad de rotación del sistema de los espejos está sincronizada a la velocidad de la plataforma de manera que líneas sucesivas de barrido se tocan entre sí o tienen alguna sobreposición parcial.

   El espejo es rotado u oscilado como péndulo, alrededor de un eje paralelo a la dirección del movimiento del avión o satélite, lo que permite el registro de los datos a lo largo de una línea de barrido perpendicular a la dirección del vuelo. (Fig. 3.3 c)

b) La radiación captada por el sistema de espejos, es luego dirigida hacia el sistema de detectores fotoelectrónicos, que recogen la señal. (Fig. 3.3 c)

c) La señal recibida es convertida en corriente eléctrica, para luego ser amplificada y registrada sobre un tubo de rayos catódicos o grabada en cintas magnéticas.

d) Las líneas barridas por el sistema, pueden ser registradas de dos maneras. Una forma de registro es la análoga y la otra es la digital. En ambos casos se registran en cintas magnéticas para su transmisión a estaciones terrenas. En el caso análogo la señal puede ser modulada para formar imagén en un tubo catódico, para luego ser copiada por películas fotográficas, en forma de registros contínuos o fajas. Generalmente los registros son de tipo digital.

e) Cuando se desea cuantificar la información radiómetrica, obtenida con los barredores, es necesario realizar la calibración de estos sensores.

Al igual que las fotografías aéreas, las imágenes obtenidas con barredores son afectadas por una variedad de distorsiones, ocasionadas tanto por el sistema óptico como por el movimiento de la plataforma aérea.

En las imágenes de barrido, tanto la escala como la geometría cambian cuando se alejan de la línea media de la imagen. La escala disminuye hacia los bordes de la imagen, y la deformación de los objetos aumenta hacia los bordes. Esto se debe a que el espejo cambia el ángulo de visión del terreno contínuamente durante cada barrido.

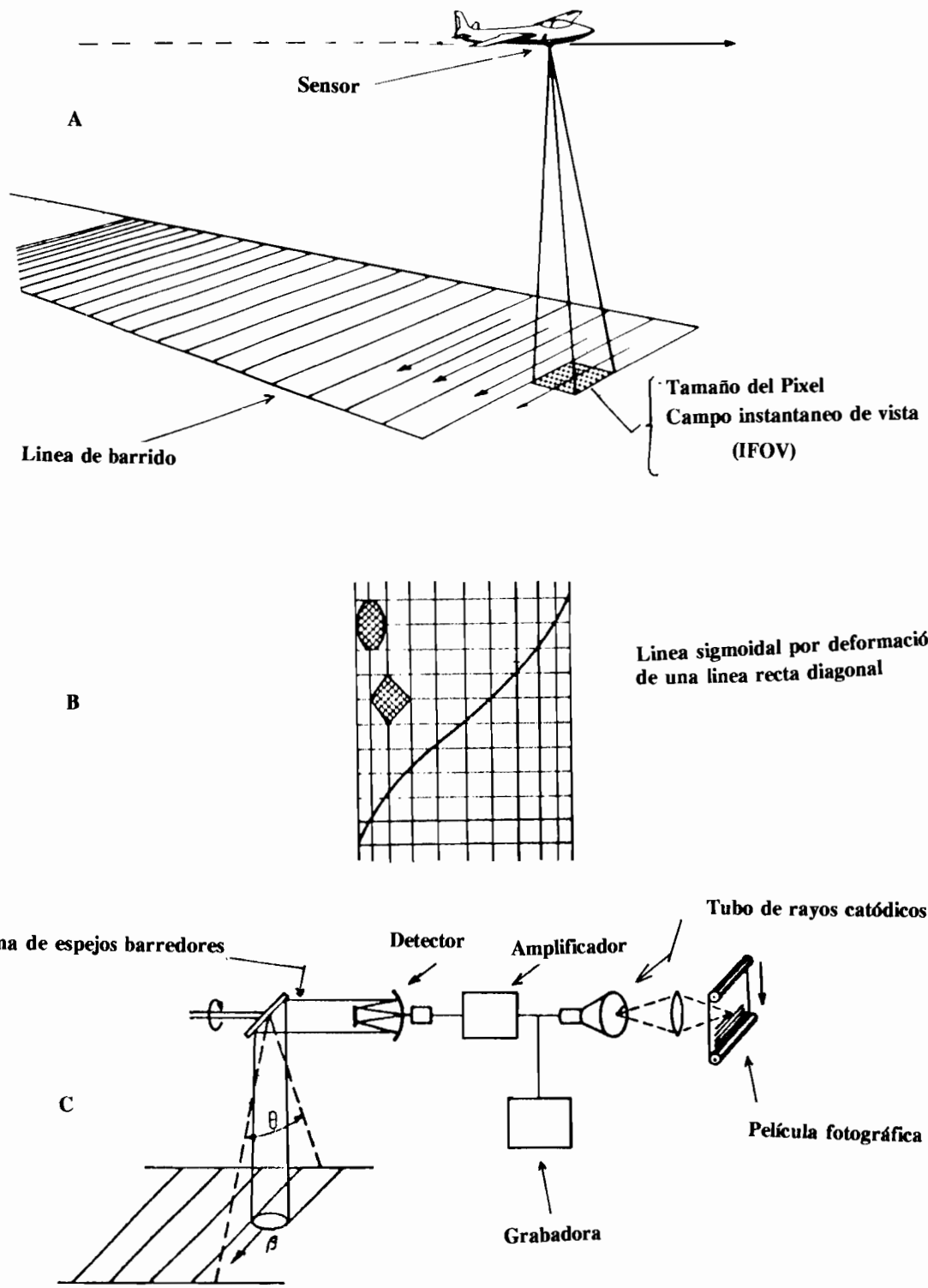


FIGURA 3.3 Barredor Lineal y sus características. A) Modelo del barredor lineal transversal a la línea de vuelo. B) Deformación producida en una línea recta por efecto del barrido.C) Esquema del barredor lineal.

Debido a la variación lateral de la escala, la dirección aparente de los rasgos del terreno cambian a través de la imagen. Como resultado de ello líneas rectas que no sean paralelas a la líneas de barrido o a la trayectoria de vuelo, adquieren formas sigmoidales. (Fig 3.3.b)

Debido al movimiento de la plataforma aérea (avión o satélite) las distorsiones que ocurren en este tipo de imagenes son consecuencia de las variaciones en la altura de vuelo y dirección de vuelo, además del efecto de deriva, cabeceo, inclinación, y rotación de la nave aérea.

La resolución de los barredores lineales, se halla en función de la geometría del sistema óptico y de la sensibilidad de los detectores. Conceptos sobre resolución y características de los detectores se discuten en forma separada en este capítulo.

Si los barredores lineales operan con longitudes de onda que corresponden a una banda de una región específica del espectro, como el caso del infrarrojo termal, o por el contrario si operan con varias bandas en más de una región del espectro electromagnético, los barredores utilizados para este propósito se denominan:

a) Barredores termales

b) Barredores multiespectrales.

a) **Barredores Termales o de Infrarrojo** Detectan radiaciones que corresponden al infrarrojo lejano o termal de longitudes de onda con valores mayores a 1 micrómetro, y en especial entre los 8 y 14 μm. Difieren de los radiómetros infrarrojos, porque no cuentan con una fuente interna de referencia que permita obtener valores cuantificables precisos de la radianza de los objetos.

Solo es posible producir imagenes en las que se puede apreciar diferencias relativas en la radianza, que son suficientes para muchos propósitos. En algunos casos es posible asignar valores cuantitativos a ciertas áreas de una imagen.

Estos barredores operan de un modo similar al descrito anteriormente, aúnque por las características y propiedades del infrarrojo lejano o termal, existen algunas variaciones, que se indican a continuación: Al sistema se halla acoplado un giroscópio, detectores para infrarrojo los cuales se hallan conectados a una unidad de enfriamiento (Helio líquido o Nitrógeno líquido), una unidad de amplificación y control, y una unidad de grabación mediante cintas magnéticas, que posteriormente puede mostrar imagenes en forma de video. (Fig. 3.4). Algunos de estos sistemas usan películas para el registro de las imagenes en ellas. El giroscopio tiene como objeto controlar y registrar los movimientos laterales que tiene el avión y enviar así una señal que permita a la unidad de control electrónico corregir la señal para reducir los errores geométricos causados por la inestabilidad del avión.

Todo este equipo no sobrepasa a los 100 Kgrs. de peso, y generalmente son instalados en aviones que se hallan adaptados para permitir que el sistema de barrido pueda observar el terreno, a través de una abertura en el fuselaje del avión, que faculta al barredor captar las radiaciones infrarrojas del terreno. Estas radiaciones son convertidas en señales eléctricas que luego de ser amplificadas, dan como resultado franjas continuas de imagenes térmicas del área cubierta por el vuelo, que tienen la apariencia de una fotografía aérea. (Foto 3.2)

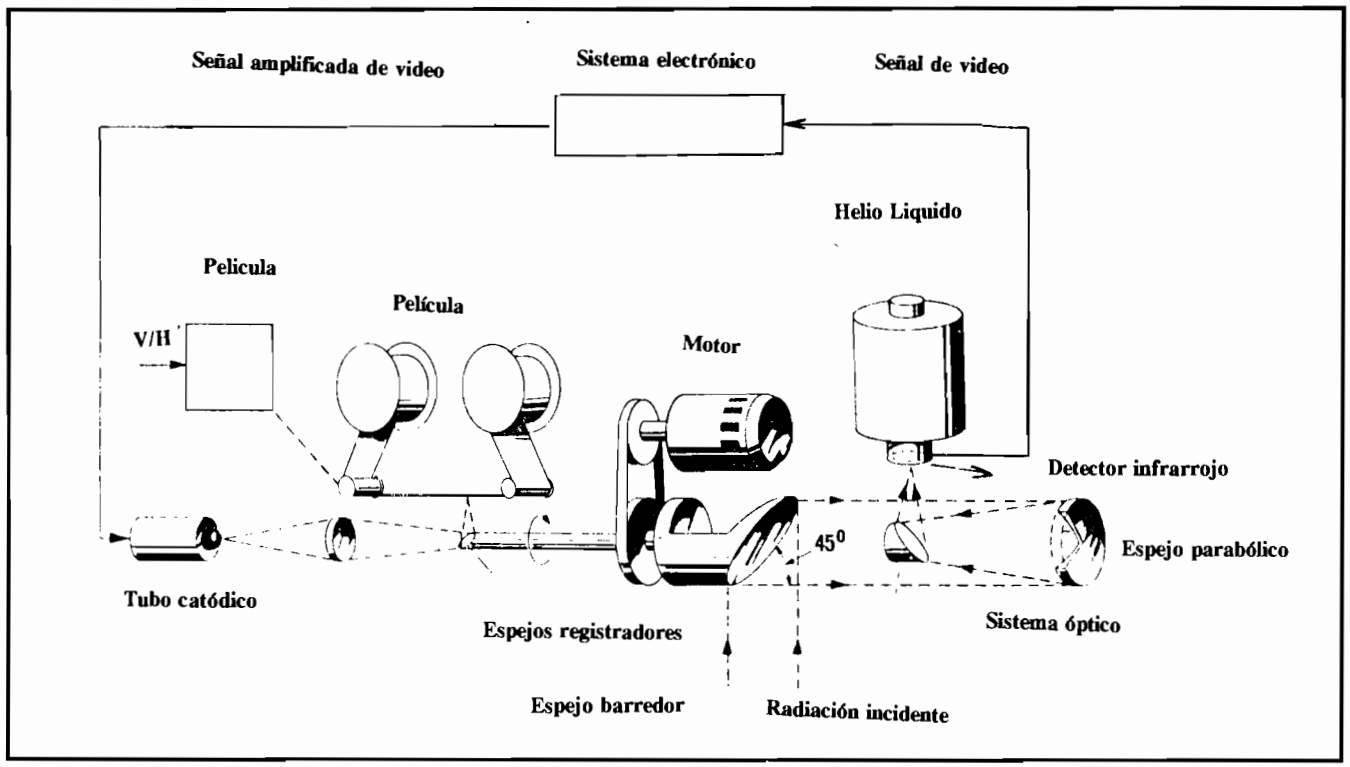


FIGURA 3.4 Barredor Termal (Adaptado de Avery 1971)

b) **Barredores multiespectrales** Son considerados como barredores multiespectrales (MSS), todos aquellos barredores que registran simultáneamente varios canales o bandas espectrales, que en algunos casos sobrepasan los 10 o más, produciendo imagenes del mismo punto en las diferentes bandas o canales en que opera, con una apariencia similar a una fotografía aérea.

Generalmente las bandas o canales son de longitudes de onda angostas, que van desde el espectro visible, infrarrojo cercano hasta el infrarrojo lejano o termal. La operación del sistema, aúnque similar a los barredores de este grupo, tiene algunas diferencias. Por ejemplo utiliza un espectrómetro para dispersar la radiación que colecta el sistema de espejos. (Fig. 3.5)

La radiación es dispersada en sus componentes espectrales, mediante prismas, rejillas, filtros, para luego pasar a los detectores, donde son registradas las longitudes de onda que corresponde a cada una de las bandas a la cual se hallan sensibilizadas dichos detectores.

La señal de cada detector es amplificada, procesada y luego grabada o transmitida a las estaciónes terrenas. De igual manera la información relacionada con la fuente de calibración es también grabada y/o transmitida.

Uno de los sistemas multiespectrales más conocido, es el MSS utilizado en los satélites LANDSAT 1 al 5 (Cuadros 1.3 - 1.4 y fig. 1.5) que operan con cuatro y cinco bandas, produciendo cuatro o cinco imagenes simultáneas de una misma área. (Dos en el visible y dos en el infrarrojo cercano; en el caso satélite del Landsat 3, la quinta banda corresponde al infrarrojo termal.)

Las imágenes obtenidas con este barredor multiespectral, son de buena calidad, habiendo superado las expectativas que se esperaban de ellas, por lo que el uso de estas imagenes se ha generalizado en la mayoría de las investigaciones que se realizan en el campo de los recursos naturales en general. Los formatos que se hallan a disposición del usuario, han sido sometidos a

diferentes formas de procesamiento para el ajuste de los errores geométricos y radiométricos. Los productos puestos a la venta corresponden a imagenes impresas en papel fotográfico, a escalas 1: 1. 000.000, 1: 500.000 y 1: 250.000.



FOTO 3.2 Imagen infrarrojo termal. La foto superior corresponde al registro diurno, mientras que la inferior fue tomada en la noche. Observe los diferentes tonos blancos y negros de registro, para el mismo objeto. Los tonos blancos en la imagen superior indican temperaturas altas para el mismo objeto, que en la foto inferior se registra en tonos negros, lo que indica que la temperatura del mismo objeto, ha bajado en la noche.

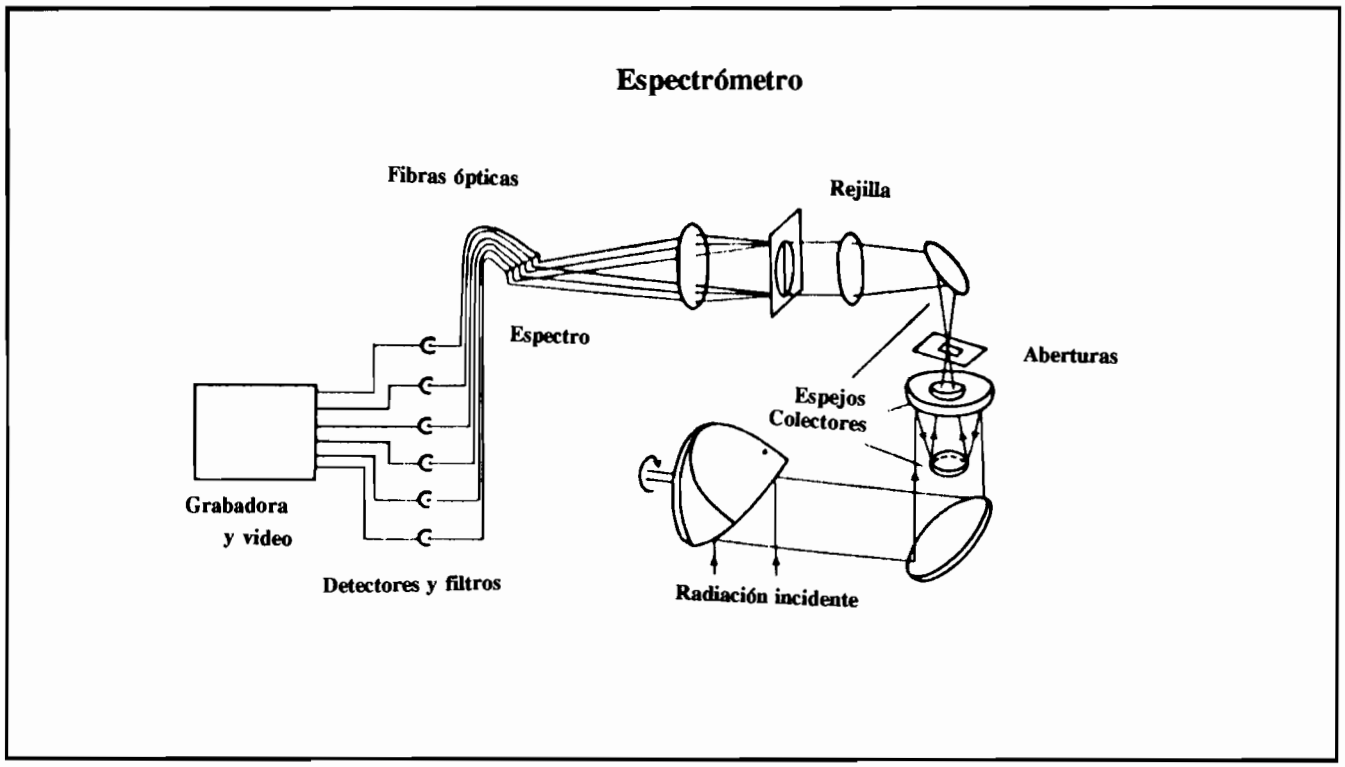


FIGURA 3.5 Barredor multiespectral

El tamaño del formato para las imagenes a escala 1:1. 000. 000 es de aproximadamente 23 x 23 cm de lado. (Foto 1.3)

En estos barredores, las líneas que barre el espejo en forma simultánea son seis, para cada una de las cuatro bandas, esto debido a que las fibras ópticas de los detectores, dividen la energía que proviene del espejo en seis segmentos contiguos.

Otro sensor que pertenece a este tipo de barredores, es el MAPEADOR TEMATICO o TM (**Thematic Mapper**) instalado en los satélites LANDSAT 4 y 5 (Cuadro 1.4 y Fig. 1.7 a y b) que registra siete bandas, tres en el visible, tres en el infrarrojo cercano medio y una en el infrarrojo termal. Este sensor es mucho más complejo en su modo de operar que los barredores anteriormente descritos. Posee una resolución espacial más fina, una fidelidad geométrica mejorada, un detalle radiométrico más alto y una información espectral más detallada en las regiones espectrales que han sido definidas con mayor precisión. Los valores digitales están representados por un mayor rango en los valores de brillo, registrando 256 niveles de brillo a diferencia de los 128 niveles de brillo que posee el barredor multiespectral del LANDSAT, por lo que la calidad de la imagen supera ampliamente a las MSS.

El barredor del TM, adquiere 16 líneas de datos, y a diferencia del sistema MSS, el barredor obtiene los datos en las dos direcciones del barrido (ida y vuelta). Esta característica permite que la velocidad del movimiento de los espejos barredores seá más lenta, lo que mejora la duración del tiempo para que los detectores puedan captar con mayor eficiencia las diferencias de brillo de la escena registrada.

Sin embargo, esta característica requiere de un proceso adicional para reconfigurar la posición de la imagen de los pixels con el propósito de formar una imagen geométricamente más precisa o exacta. (Fig. 3.6)

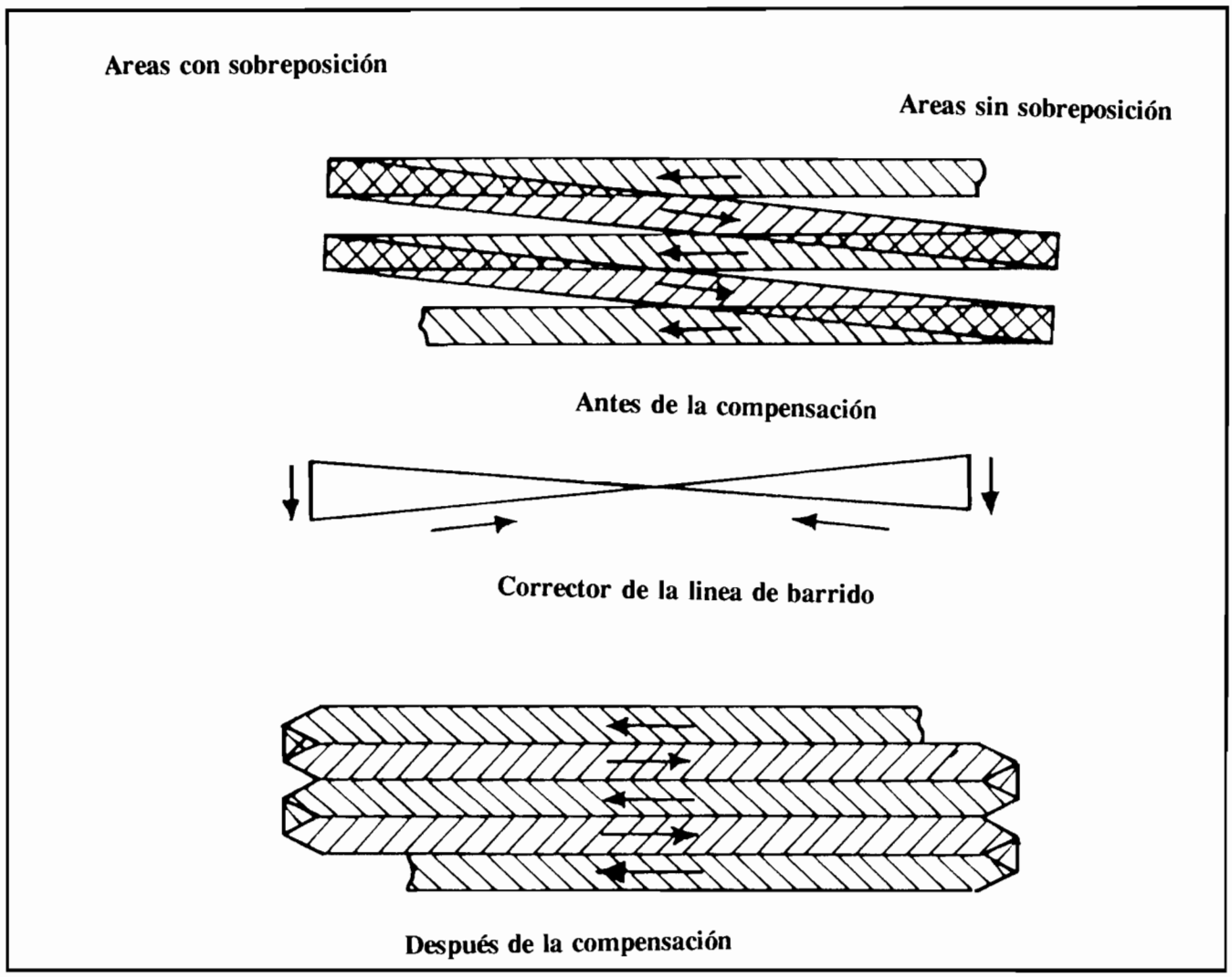


FIGURA 3.6 Modelo de corrección del barrido lineal en el mapeador temático (TM)

Por no tener detectores de fibra óptica como los del MSS, los detectores del TM se hallan agrupados en un conjunto lineal ordenado ubicado en el plano focal, lo que puede ocasionar registros erróneos de las bandas del TM.

Las imágenes del TM se caracterizan por su mejor resolución y mayor número de canales, la cantidad de información almacenada en números binarios es nueve veces mayor que las imágenes MSS. (Foto 1.2). Esto ocasiona serias dificultades en la transmisión, recepción y manejo de los datos.

Los productos puestos a la venta corresponden a imagenes impresas en papel fotográfico o en transparencias, en blanco y negro, color compuesto, escalas 1:1000000, 1:500000, 1:1250000 y 1:100000. También ofrece productos en cinta magnéticas para procesamiento digital. (Cuadro 3.1)

3.2.2.2.1.b **Barredores tipo Pushbroom o de barrido paralelo a la dirección de vuelo.-** Entre el sistema tradicional de barredores lineales y el sistema formador de imagen por conversión de una imagen electrónica sobre una superficie fotoeléctrica, (tipo vidicon) se ha desarrollado un nuevo sistema de sensores, basado en el diseño de minúsculas celdas (μm) sensibles a la radiación que han sido denominadas **Dispositivos de carga acoplada**, que son denominados **CCDs.**

Este dispositivo, que en número contiene 6000 elementos sensibles por cada línea de barrido, se hallan arreglados en un conjunto lineal ordenado, ubicados sobre el plano focal del sistema óptico, donde registran simultáneamente una línea entera de datos, en forma perpendicular al vuelo, sin realizar movimiento mecánico alguno. (Figs. 1.10 y 3.7)

Esta es una de las grandes innovaciones de esta nueva técnica, que incide en la seguridad del sistema, en la uniformidad de la velocidad de barrido sobre el ancho de la franja del terreno observado, así como en la estabilidad de la nave que asegura una alta precisión geométrica.

Los dispositivos CCDs pueden ser cargados con radiación y descargados tan rapidamente, que este movimiento simple forma una imagen de líneas sucesivas perpendiculares a la línea de vuelo y lo largo de la franja del terreno conforme la nave se vá moviendo, como si fuera una escoba que barre en una dirección fija y recta.

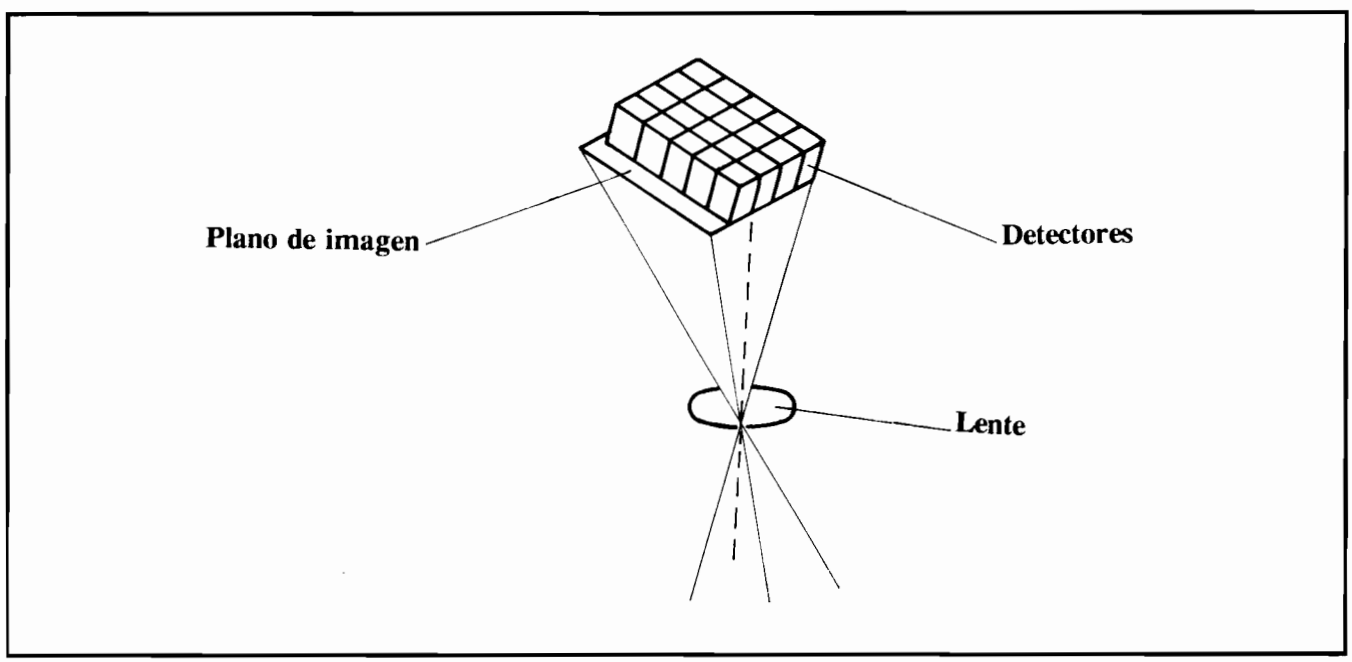


FIGURA 3.7 Detectores del Barredor multiespectral paralelo a la línea de vuelo (SPOT)

Otra característica de este sistema, que supera a los barredores multiespectrales tradicionales, es la mayor cantidad de energía que colecta para un área de tamaño similar, que en cifras puede ser hasta de 500 veces más. Esto significa que las señales de este sistema son mucho más altas, por lo que pueden obtenerse mejores resultados para bandas más angostas que las que un barredor normal puede tener.

Sin embargo, una de las grandes desventajas de este nuevo sistema, es que los CCDs solo han podido ser diseñados para operar con radiaciones de longitud de onda que no pasen del orden del 1.05 de micrómetro.

El satélite SPOT, emplea sensores que corresponden a este tipo de barredores, que han sido denominados HRV (VISIBLE DE ALTA RESOLUCION) cuyas características se hallan descritas en detalle en el capítulo I (Figs. 1.9 - 1.10 y Cuadro 3.1)

3.2.2.2.1.c **Barredores de registro lateral a la dirección de vuelo.-** Entre los barredores de este tipo se puede mencionar al grupo de los sensores activos, principalmente al sistema radar.

El sistema que produce imagenes en fajas continuas, es el RADAR AEREO DE VISTA LATERAL o SLAR, que registra las imagenes de fajas de terreno paralelas a la línea de vuelo y ubicada hacia un lado del avión.

Las imágenes en este sistema se obtienen mediante una antena, que se halla ubicada en la parte lateral del avión. Un generador produce las radiaciónes que son enviadas como impulsos, de varios kilovatios de potencia. La duración del impulso se halla controlada por la unidad de control de tiempo, cuando ella es transmitida a través de la antena. Otra función que cumple es la de controlar la polarización y dirección de emisión.

El barrido del terreno es realizado en forma perpendicular a la línea de vuelo.Una vez que la radiación es reflejada por el terreno, retorna hacia la antena. Las radiaciones recibidas por la antena, son convertidas en señales eléctricas amplificadas y registradas en cintas magnéticas, para producir ya sea una imagén visual, o formar directamente una imagen similar a una fotografía, utilizando para ello un tubo de rayos catódicos. (Fig. 3.9)

3.2.2.2.2 **Sistema formador de imagen por conversión de imagen electrónica (Tipo Vidicon).-** Este sistema se asemeja al sistema fotográfico, por la manera en que produce la imagen, la cual es formada sobre una superficie fotoeléctrica, que es comparable con la superficie fotoquímica sobre la cual el sistema fotográfico, produce imagen. Este sistema se halla constituido por un obturador, un sistema óptico, un sistema de compensación de movimiento de la imagen parecido al de una cámara fotográfica corriente, una lámpara de iluminación de imagenes y la parte eléctrónica del sistema.

La formación de imagenes en este sistema involucra la conversión de la imagen electrónica sobre una superficie fotoeléctrica en una serie de señales eléctricas que pueden ser registradas, o transmitidas y posteriormente reordenadas para reproducir una imagen de la escena original.

La radiación solar reflejada del terreno pasa a través de un sistema de lentes y luego es enfocada a la superficie fotosensitiva de la cámara vidicon denominada FOTOCONDUCTOR y cuyo procedimiento es similar al empleado en el sistema fotográfico. Sin embargo antes de que el obturador seá abierto para que el fotoconductor sea expuesto a la escena, el lado reverso del mismo es cargado negativamente por el barrido del rayo de electrones.

Después que el obturador se ha abierto y luego cerrado; el fotoconductor retiene la imagen como una carga patrón. La conductividad eléctrica del fotoconductor aumenta con la intensidad de la iluminación de la radiación. La imagen es formada por el barrido de un rayo de electrones, que sistematicamente barre en una serie de líneas, lo que favorece la variación en la conductividad que es la causa para que los objetos del terreno presenten diferentes intensidades de iluminación, y se traduzca en señales eléctricas análogas por períodos cortos de tiempo.

Estos valores de reflectancia de la escena convertidos en señales de video, son los transmitidos a una estación terrena.

El sistema vidicon produce señales, que solo pueden ser suministradas en blanco y negro. Si se desea obtener imagenes a color, necesariamente se debe utilizar tres sistemas vidicon con

diferentes filtros (rojo, azul y verde), de manera que en forma separada y en cada uno de los sistemas, se obtenga tres imagenes filtradas para el rojo, azul y verde. Por combinación de las tres imagenes, se puede formar una imagen a color sobre un monitor a colores.

Al igual que las películas a color, el material utilizado en vidicon es solo sensible al espectrovisible e infrarrojo cercano. Este tipo de limitaciones, además de la resolución definida por el tamaño del fotoconductor del vidicon y por la precisión del barrido de rayos de electrones, el uso de videcones está restringido.

La primera generación de los satélites LANDSAT (1 y 3), ha utilizado este sistema de sensores, que fué denominado RBV, o Cámaras Vidicon de Haz de Retorno (Fig. 1.4). Se halla integrado por tres cámaras, que operan simultáneamente enfocando la misma escena. Cada una de ellas registran bandas angostas del espectro visible e infrarrojo cercano. (Cuadro 1.3). Las imágenes que registran, cubren un área aproximada de 185x170 Km. que coincide con el área cubierta por las imagenes MSS, del barredor multiespectral, segundo sensor del Landsat.

El funcionamiento de este sensor, tuvo que ser interrumpido por defectos del sistema y el tiempo de operación fué relativamente muy corto.

3.2.2.2.3 **Sensores Activos de Microonda - Radar.-** El sistema áctivo más conocido para operar en la región de las microondas, es el RADAR, cuya sigla significa Detección y Medición de Distancias por Radio. (**RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging). Es uno de los pocos sensores que generan su propia energía electromagnética, para iluminar el terreno, y detectar los objetos que reflejan esta energía radial, y luego convertirla en imagenes o en inforformación digital.

Como las propiedades de estas ondas son conocidas, es posible calcular el tiempo que tarda una onda en llegar a un objeto remoto y retornar al sensor. Comparando ambos tiempos, y conociendo la velocidad de propagación de la onda, se puede calcular la distancia al objeto. (Los reflejos que provienen desde objetos más cercanos llegan primero, mientras que las señales de los objetos más alejados llegan al último).

Para evitar interferencias entre la radiación emitida y la reflejada desde el terreno, la iluminación es realizada en pulsos discontinuos e interrumpidos en el orden de los microsegundos. Como el retorno desde la superficie de estos pulsos debe ser recibido antes que los siguientes pulsos seán transmitidos, es muy importante el control del cronometraje de los pulsos.

Comparando la longitud de onda de retorno de la radiación con la onda transmitida, es posible determinar el efecto doppler, y en base a ello se puede determinar la velocidad relativa entre el radar y el objeto.

Los valores así calculados, distancia y velocidad, son empleados para mejorar la resolución, en los sistemas de radar formadores de imagen.

La mayoría de los sistemas de Radar utilizan la porción del espectro electromagnético que vá entre 1 cm. y 1 m. de longitud de onda. (Cuadro 2.8).

Un sistema de radar se halla integrado por los siguientes componentes:

a) Un transmisor, que envía pulsos repetitivos de energía en la región de las microondas. (Fig. 3.8)

b) Un receptor que capta las señales reflejadas, para luego filtrarlas y amplificarlas si es necesario.

c) Un sistema de antenas que transmite radiaciónes de la región de microondas. El sistema además cuenta con un guiador de ondas, que controlan la propagación de las ondas, de manera que ellas sigan una trayectoria definida por la estructura del guiador. Generalmente esta antena es utilizada tanto para transmitir la señal del Radar como para recibir su eco desde el terreno. (Fig. 3.8)

d) Un registrador, que registra y/o presenta las señales como una imagen.

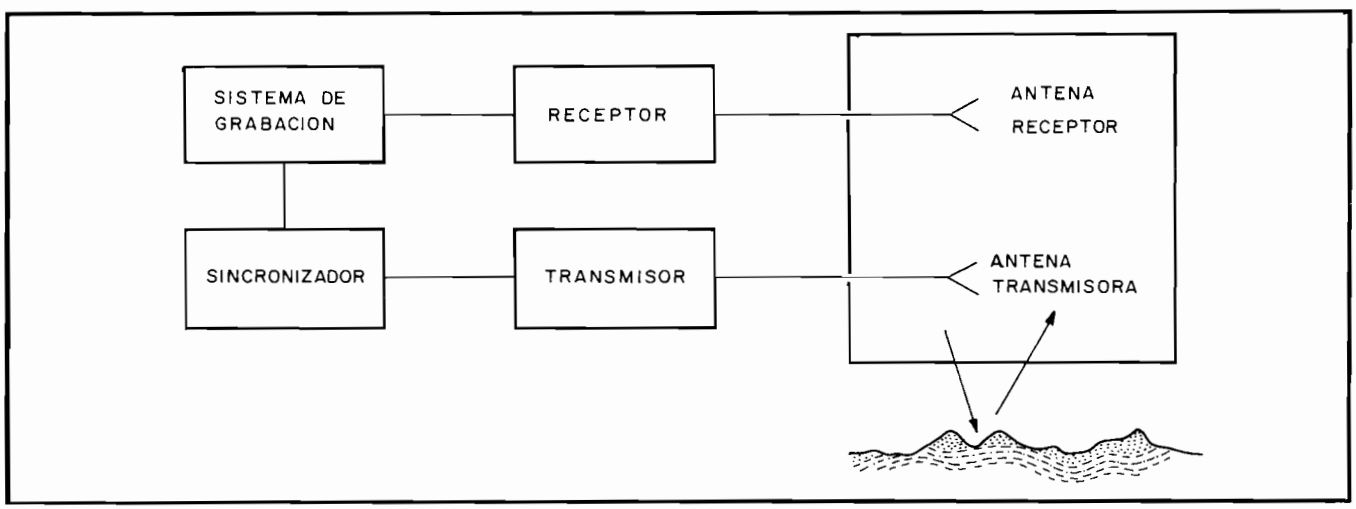


FIGURA 3.8 Diagrama de los elementos básicos del sistema radar

Existen diversas clases de radares. Entre ellas, se hallan los sistemas de radares indicadores de Posición Planar o PPI; utilizados en los aereopuertos; los radares cartográficos, el radar altímetro, el radar dispersómetro y el radar aéreo de vista lateral (SLAR), que es el más importante en percepción remota, por tratarse de un radar formador de imagenes, cuyas principales características, es necesario conocerlas para poder realizar la interpretación visual correcta de estas imagenes.

3.2.2.2.3.a **Radar Aéreo de Vista Lateral (SLAR).-** Este sistema ha sido diseñado para producir imagenes, que tienen una apariencia similar a las fotografías aéreas.

Los principales componentes del SLAR son: el **transmisor**, la **antena** que opera como transmisor y receptor, un **duplicador** el cual alterna la operación del transmisor y receptor, un **tubo de rayos catódicos** el cual muestra los intervalos de tiempo entre la transmisión y el retorno de la energía; y un **dispositivo para registro fotográfico.**(cámara).

La energía electromagnética es transmitida por períodos muy cortos de intervalos de tiempo, del orden de 0.1 de microsegundo. La antena dirige la energía sobre una angosta faja del terreno, en dirección aproximadamente normal a la dirección de vuelo (Fig. 3.9). Puesto que la misma antena es utilizada tanto para transmitir como para recibir la energía, el duplicador desconecta el transmisor

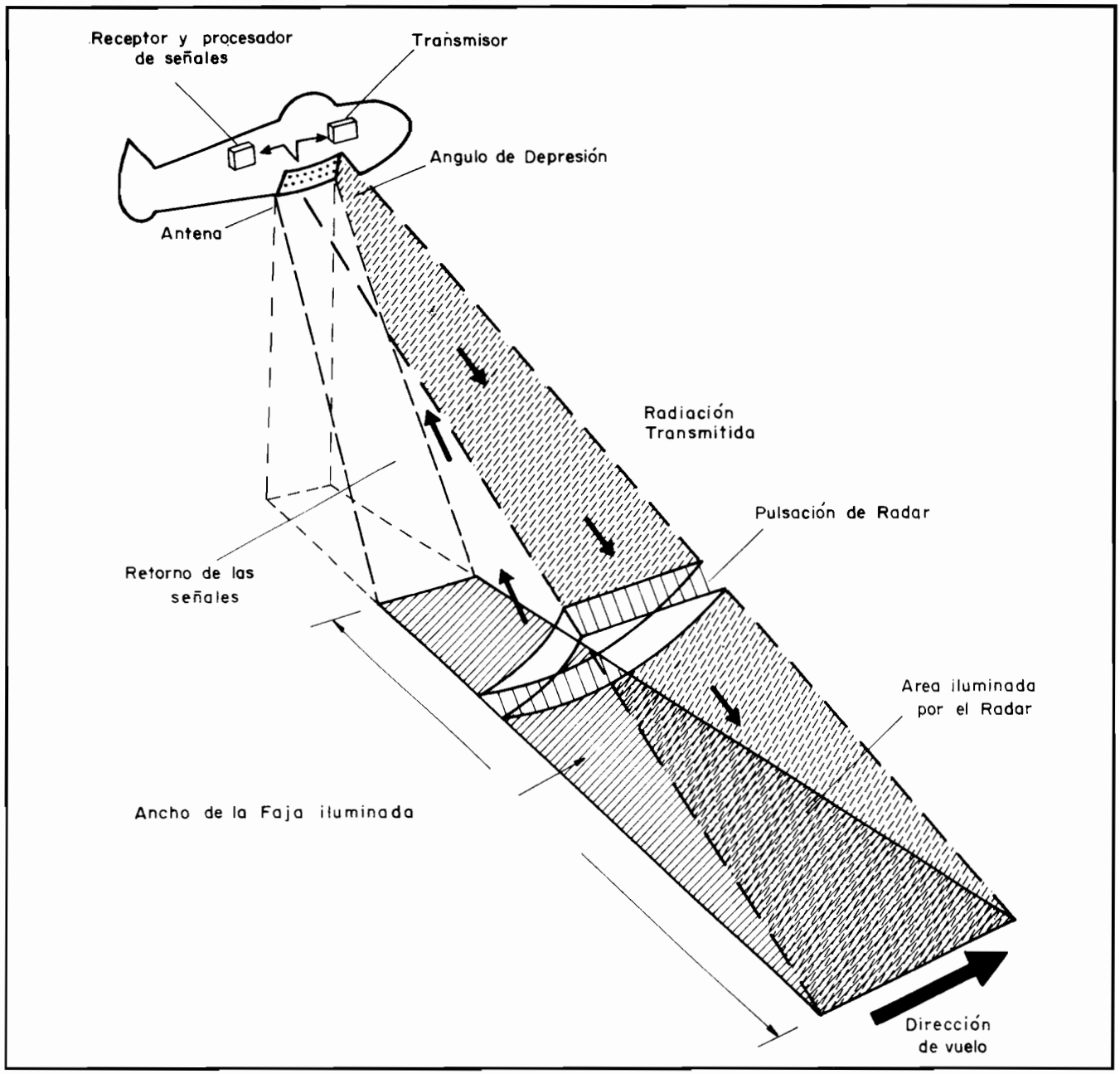


FIGURA 3.9 Radar aéreo de vista lateral (SLAR)

siguiendo la emisión del pulso y conecta el receptor a la antena. Este proceso se repite en forma continua durante la operación del sensor. Cuando la energía reflejada es recibida, ella es amplificada y exhibida en el tubo de rayos catódicos como líneas de barrido. Una cámara de registro de imagenes enfoca la imagen del tubo sobre una película que se halla en movimiento continuo pasando por la cara del tubo a una velocidad proporcional a la velocidad del avión sobre el terreno. (Fig. 3.10)

Existen dos tipos de sistemas de radar SLAR, los cuales presentan algunas diferencias básicas, en relación a la característica y dimensión de la antena que utilizan y en especial a la Resolución que obtienen en la dirección azimutal.

a) Radar de Apertura Real (Fuerza bruta)

b) Radar de Apertura Sintética (SAR)

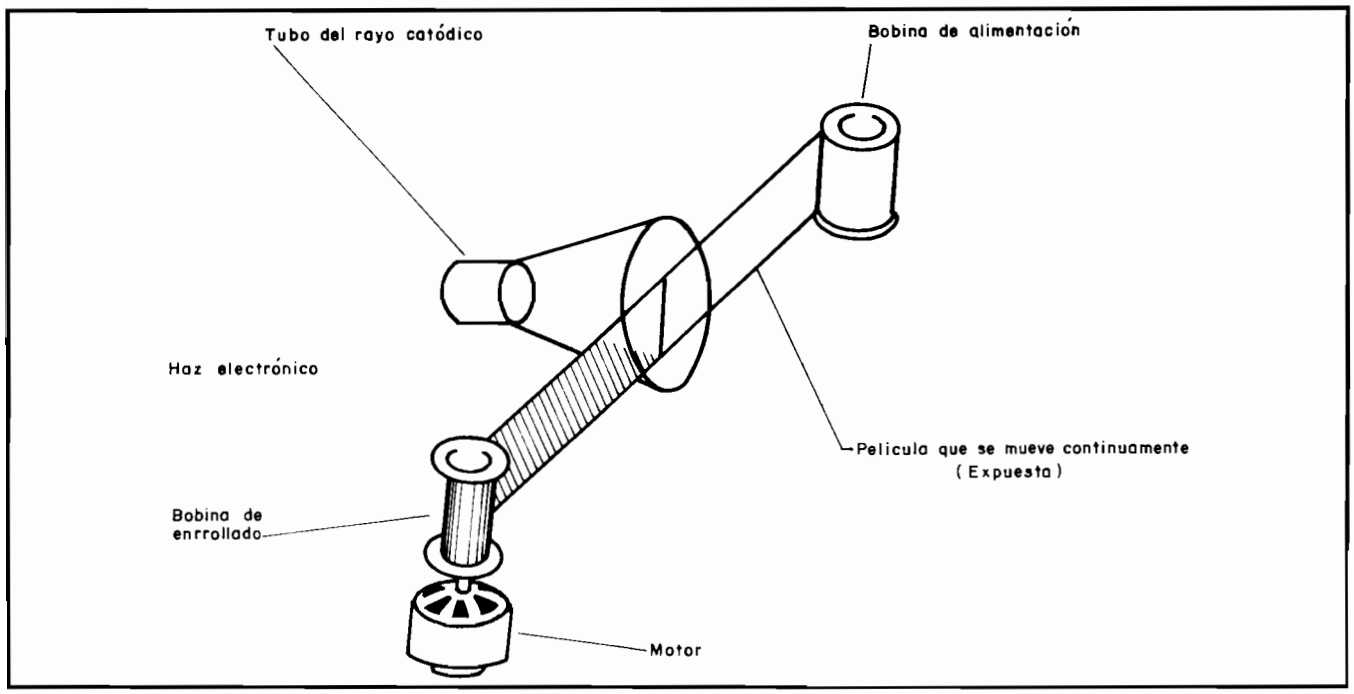


FIGURA 3.10 Esquema de grabación de imagen del SLAR

a) **Radar de Apertura Real** A veces llamado Sistema de Radar de Fuerza Bruta, corresponde al sistema antiguo, más simple y económico de los sistemas formadores de radar.

La configuración del sistema es muy similar a la del original SLAR, utilizan una antena que tiene una longitud máxima, con el objeto de producir un rayo angosto para iluminar el terreno. El término Apertura se utiliza como sinónimo de Antena.

La resolución del sistema está controlada por varios factores. Generalmente la señal transmitida, ilumina áreas que en lo posible sean lo más pequeñas, para así obtener una alta resolución del terreno, de manera que los objetos registrados individualmente no pierdan su identidad en la imagen de radar. Por el contrario, sí el tamaño del área iluminada es grande, las reflexiones de los diferentes rasgos, son promediados en forma conjunta, para producir un solo valor en la escala de tonalidades de gris, perdiendo su individualidad en la imagen.

El tamaño del área iluminada, es función de varios factores siendo uno de ellos, la dimensión de la antena en relación a la longitud de onda.

Una antena larga, permite al sistema enfocar energía sobre áreas pequeñas del terreno. Por esta razón, un radar de apertura real, para registrar el detalle fino de una escena, requiere del uso de antenas largas, que además puedan ser llevadas por el avión.

La dimensión de la antena es una restricción del sistema, ya que ella limita en forma directa a la resolución de las imagenes de radar.

b) **Radar de Apertura Sintética (SAR)** Este sistema, es una alternativa de los sistemas de radar, para formar imagenes de mejor resolución, utilizando principios y tecnología muy diferente a la del Radar de apertura real. Es muy compleja en su operación y el costo de fabricación es mucho más elevado.

Emplea una antena relativamente corta, (+ 2 m.), que correspondería artificialmente a una antena de longitud efectiva mayor a los 500 m. que ha sido lograda electrónicamente. Esta es la razón, para que la antena sea llamada Sintética en contraste con la de apertura real, que utiliza su verdadera longitud física para operar. La aplicación del efecto Doppler, es utilizada para sintetizar la resolución azimutal de un rayo que también ha sido sintetizado o reducido en su ancho.

El efecto Doppler establece que: **Si una fuente de energía electromagnética que tiene una frecuencia fija, se acerca o se aleja de un observador, el observador recibirá la radiación de la fuente en una frecuencia diferente, siendo mayor para las fuentes que se acercan y menor para las que se alejan con relación a la posición del observador.** Esta alteración de la frecuencia de la radiación electromagnética causada por el movimiento relativo entre observador y fuente encierra en síntesis, el significado del efecto Doppler. Aplicado al sistema radar, significa que la frecuencia aparente del pulso enviado por la antena, difiere de la frecuencia del pulso reflejado, como consecuencia del movimiento relativo entre el avión y los diferentes puntos del terreno.

Como la operación se realiza con el conocimiento de las frecuencias de la señal transmitida, es posible comparar las frecuencias de las señales transmitidas y reflejadas, para determinar las cantidades del desplazamiento de frecuencias ocurridas, que permite al sistema asignar las reflexiones a sus posiciónes relativas correctas sobre la imagen, además de sintetizar el efecto de una antena larga. El registro de este tipo de señales, que son complejas y su asignación a su correcto significado en la imagen, tiene problemas, que han sido resueltos de la siguiente manera:

a) Registra la información relacionada con la señal reflejada como un "patrón o modelo de interferencia", en una película que es llamada "Película para datos o señales".

b) Esta película registra sobre una película fotográfica, los patrones de interferencia entre la señal transmitida o de referencia y su reflección del paisaje. Este registro que no es el común, no permite identificar la escena, puesto que se trata de un registro incomprensible, que corresponde al campo de las frecuencias, de manera que una escena del terreno en la película de señales o de datos, aparece como líneas segmentadas.

c) La película de señales o de datos, que es generada en el avión durante el vuelo, es llevada a un centro de procesamiento para realizar la transformación de la información que se halla en forma de frecuencias en una imagen convencional.

Como la energía reflejada que llega al sensor, es una energía coherente de microondas, la película de datos o de señales que registra esa energía, corresponde a lo que podría llamarse un **holograma de microondas**.

Para formar una imagen gráfica del terreno, mediante su reconstrucción en el espectro visible, se utiliza un rayo de luz coherente, que es dirigido a través de la película de datos o de señales, que utiliza lentes especiales para corregir la geometría de la imagen.(Fig. 3.11) Si por el contrario los datos de la imagen, son registrados en forma digital, una cinta magnética será en este caso la contraparte de la película de datos o de señales, y la reconstrucción de la imagen será realiza da digitalmente.

Este sistema puede alcanzar una alta resolución espacial, independiente de las limitaciones de las longitudes de onda, distancia al objeto, y longitud de la antena, lo que no ocurre con el radar de apertura real.

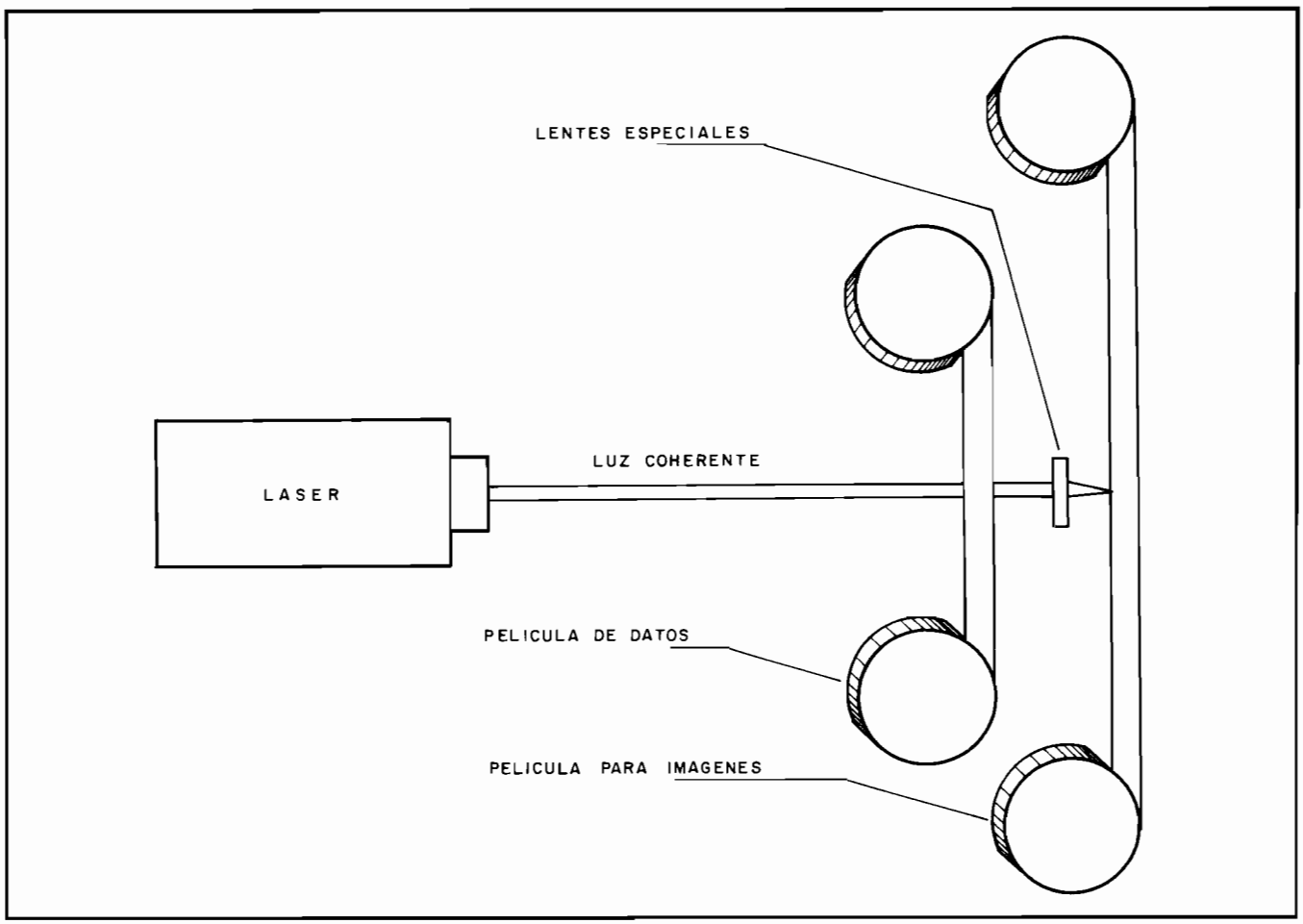


FIGURA 3.11 Procesamiento óptico de la película de datos o señales

Por estas características, es que el radar de apertura sintética tenga muchas aplicaciones, y entre las principales: la militar, y el uso en observaciones desde satélites, como los del SEASAT SAR, SIR-A y SIR-B descritos en el capitulo I (Cuadros 1.1 - 1.6 y 1.7)

En términos generales, el sistema radar ofrece muchas ventajas, que otros sistemas de registro no ofrecen, debido a las características propias de estos sensores. Entre las principales se mencionan a las siguientes:

a) La posibilidad de penetrar la atmósfera, cuando ella se halla densamente cubierta de nubes, niebla, lluvia, humo, hace de este sistema, el único que tenga la capacidad de registrar información y producir imagenes, bajo esas condiciones atmosféricas.

b) Como este sistema es independiente de la radiación solar, es posible obtener imagenes durante la noche, que constituye otra ventaja sobre el resto de los sistemas.

c) La información que entrega sobre el relieve y el drenaje es clara y de gran detalle, complementada por la precisión que tiene en la posición de los objetos registrados.

d) En regiones tropicales, con mucha cubierta de nubes, y períodos largos y continuos de lluvias, es practicamente imposible obtener imagenes o fotografías de esas zonas. El único sistema que puede suministrar información, en este tipo de regiones es el radar.



FOTO 3.3 Imagen radar (Slar), escala 1:250000. Zona Sub-Andino Norte - Serranía Tutumo - Ixiamas. Paralelos Long. 68° 10° W- Lat. 14° 00S.

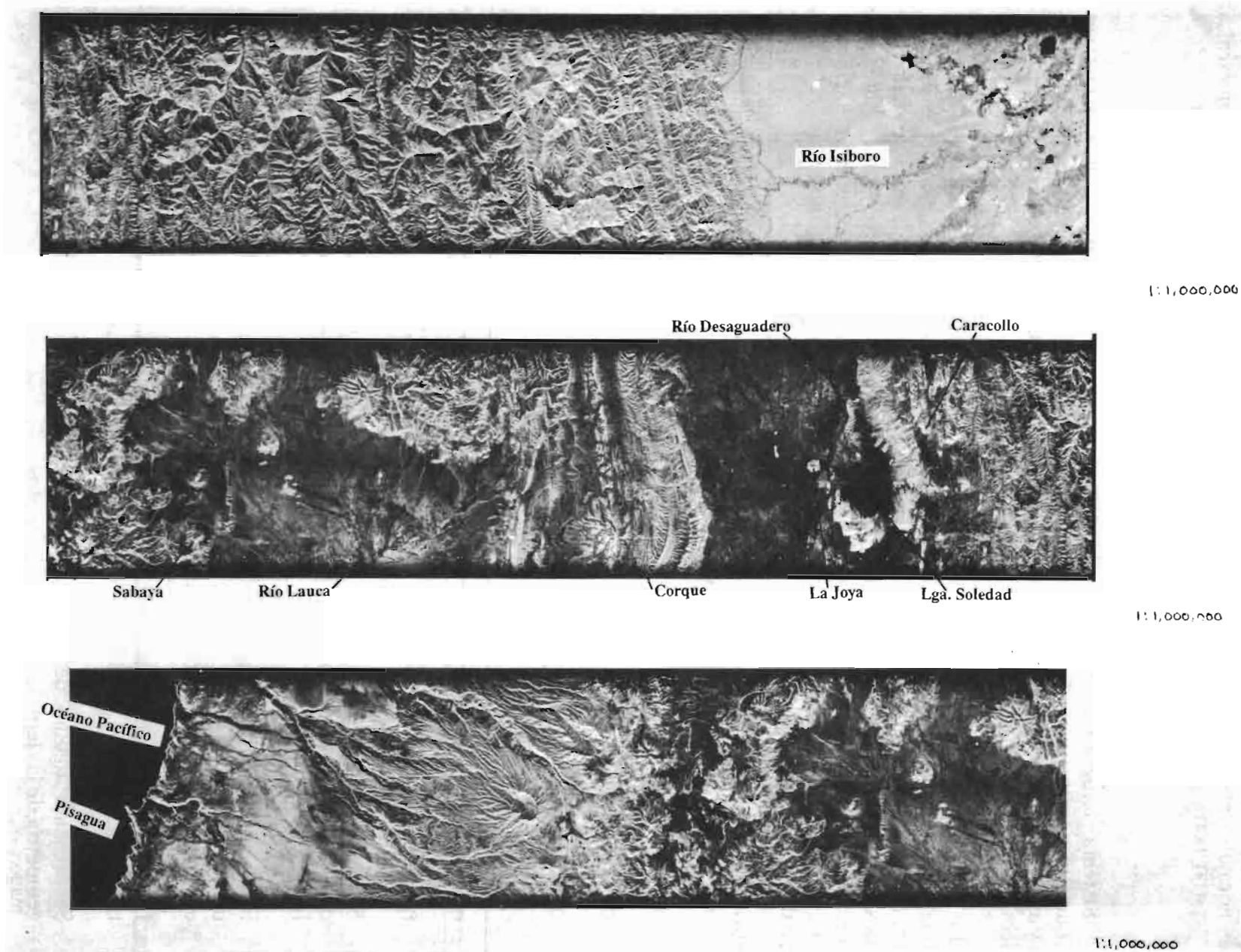


FOTO 3.4 Imagen radar (Slar) tomada en dirección Oeste-Este, a través del territorio boliviano, entre las coordenadas 65° 30'W - 16°00 S y 68°00 W - 19° 30 S. La escala de las imágenes es de 1:1000000

e) Otra ventaja que ofrece este sistema, se halla relacionado con la escala en que presenta su información. Normalmente la escala es del orden de 1:100, 000 que dá un cuadro regional más preciso de las zonas observadas, y llena el vacío existente con la fotografía aérea que normalmente opera con escalas entre 1: 10, 000 y 1: 60, 000 y las de satélite con escalas 1:100, 000 y ampliaciones a 1: 500, 000 y 1:250, 000. (Fotos 3.3 y 3.4 y Cuadro 3.1)

3.2.2.2.4 **Sistema fotográfico.-** El sistema fotográfico constituye el grupo de sensores más conocido, que por su rapidez, simplicidad, precisión, alta resolución y calidad de la imagen que produce, ha sido y es ampliamente utilizado para diferentes propósitos, especialmente para realizar estudios geológicos y geomorfológicos de una región.

En el sistema fotográfico, la película funciona como el detector, y el sistema de lentes que enfocan la imagen sobre el plano de la película corresponden al sistema óptico, de los sensores de otros sistemas. Se trata de un sistema formador de imagenes en formato, donde todos los datos son adquiridos simultáneamente, por ello en una imagen existe un buen registro, y una iluminación constante. El detector utilizado en este caso es la película fotográfica, que tiene una limitación en el rango espectral que detecta, a diferencia de los barredores lineales, que tienen mayor rango espectral de registro.

Elementos componentes de las cámaras aéreas Las cámaras aéreas convencionales más modernas se componen de los siguientes elementos básicos: (Fig. 3.12)

a) Sistema óptico

b) Obturador

c) Cuerpo de la cámara y mecanismo de operación

d) Cono de la lente

e) Almacen o Magazine

f) Equipo accesorio

a) **Sistema óptico** El sistema óptico de una cámara, generalmente consta de varias lentes, que tienen como función principal colectar la luz y enfocarla a la película para producir imagen.

El arreglo, disposición, tamaño, forma y composición de las lentes son cuidadosamente diseñados para controlar la desviación de los rayos de luz, mantener el balance del color, evitar y minimizar la distorsión de las lentes.

La calidad de la lente, es una función de la calidad del cristal, de la precisión con la cual se ha manufacturado y dado forma a la lente y la precisión en su ubicación en la cámara.

Se presenta algunas definiciones importantes relacionadas con las características y geometría de las lentes.

Eje óptico Une los centros de curvatura de los lados de la lente. (Fig. 3.13)

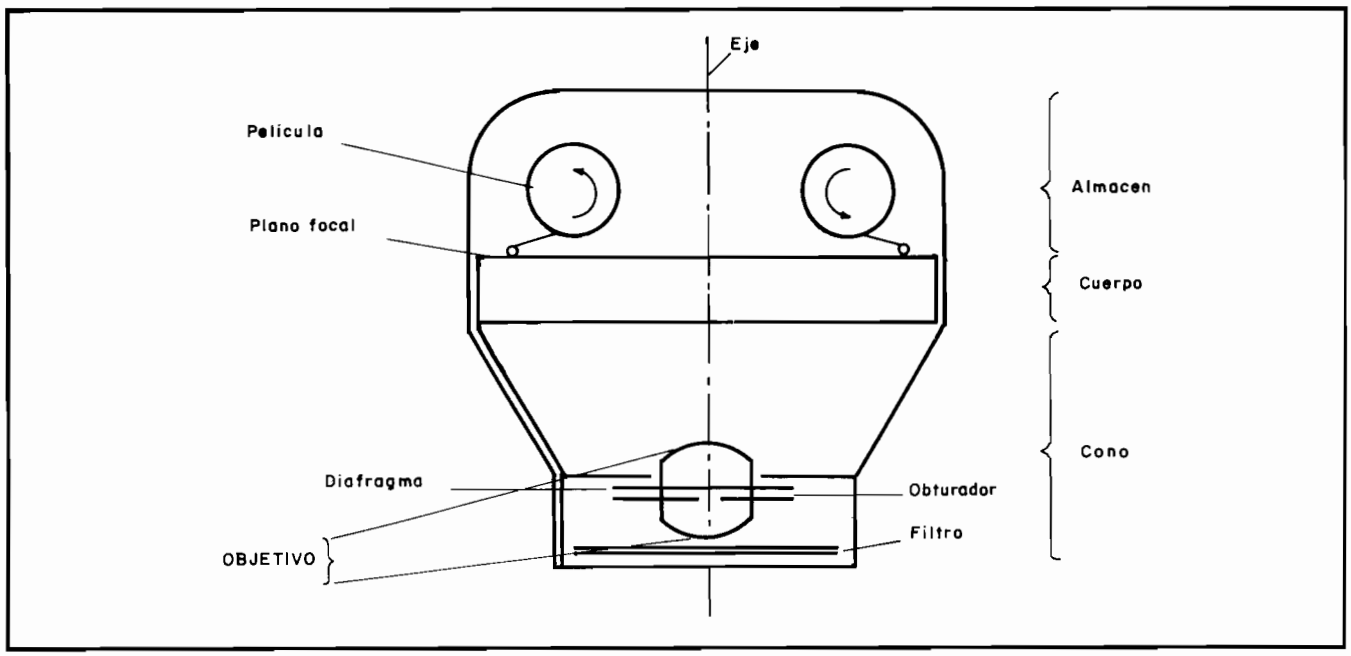


FIGURA 3.12 Esquema de la cámara fotográfica aérea

Plano principal de la imagen Es el plano perpendicular al eje óptico que pasa por el centro de la lente. Es considerado como el centro de refracción de la lente. (Fig. 3.13)

Punto nodal Es la intersección entre el plano de la imagen y el eje óptico. (Fig. 3.13)

Punto focal principal Es el punto en el cual la lente forma una imagen del objeto distante. Los rayos paralelos de luz reflejada de un objeto, a distancias muy grandes, es captada y puesta a foco en el punto principal focal. (Fig. 3.13)

Rayos principales Son aquellos rayos que pasan por el punto nodal sin cambiar de dirección. El resto de los rayos son desviados en su trayectoria por las lentes. (Fig. 3.13)

Plano focal Es el plano que pasa a través del punto focal y es paralelo al plano principal de la imagen. (Fig. 3.13)

Distancia focal Es la distancia entre el centro de la lente al punto focal, y generalmente se mide en milímetros.

Las características ópticas de las lentes, se hallan determinadas fundamentalmente por el indice de refracción del cristal y el grado de curvatura presente en la superficie de la lente, las que influyen en la **transmisión espectral** y el **poder de resolución.**

Las imperfecciones de la lente dan lugar a los diferentes tipos de distorsión y aberraciones, en especial la **esférica, cromática, error de coma y astigmatismo** (Aberración es un defecto de la imagen óptica causada por el hecho de que un sistema de lentes no puede formar una imagen perfecta).

Aberración esférica Se produce cuando los rayos de luz que parten de un punto en el objeto, luego de atravesar la lente no se cortan en un solo punto. (Fig.3.14) Este tipo de aberración que se debe a imperfecciones en la forma de la lente, es una fuente de error que produce una reducción del contraste, pérdida en la definición de la imagen, en especial de los bordes de los objetos. Los rayos

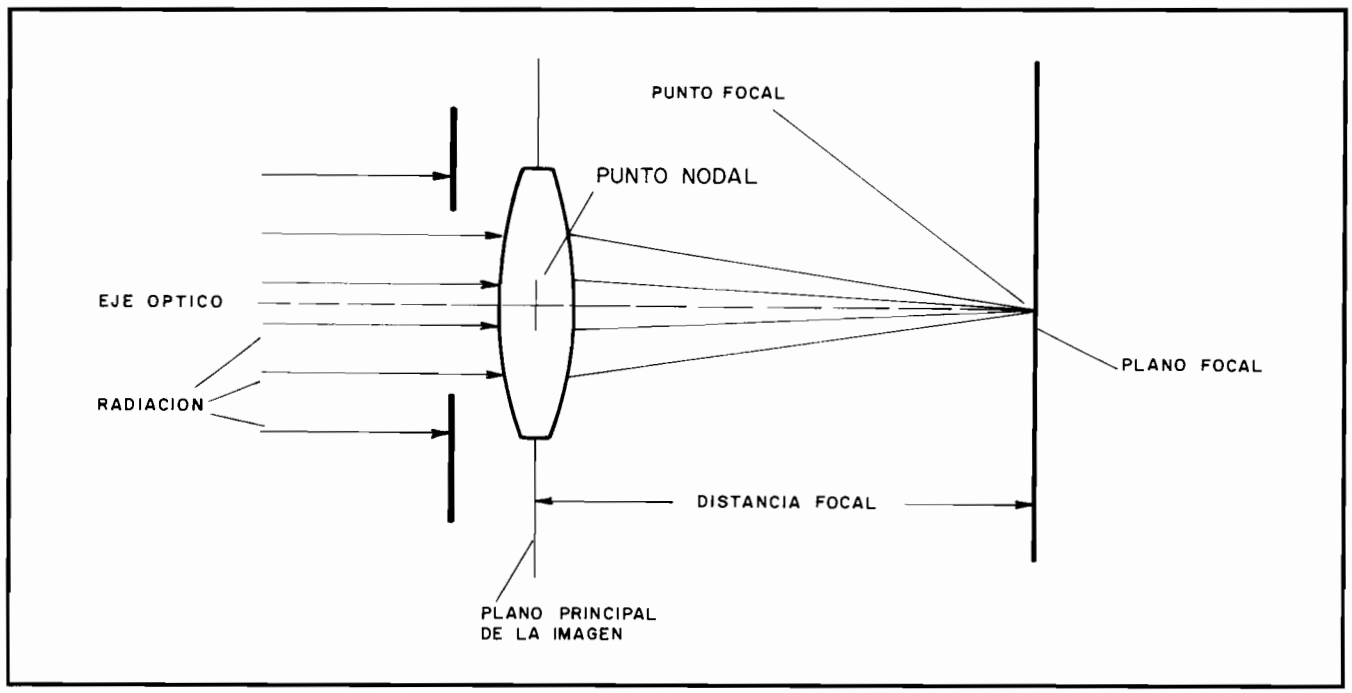


FIGURA 3.13 Componentes de la lente

colectados por la lente son refractados con mayor intensidad en los bordes que en el centro de la lente. Este efecto en las últimas cámaras se ha minimizado, por el uso de lentes de muy alta calidad.

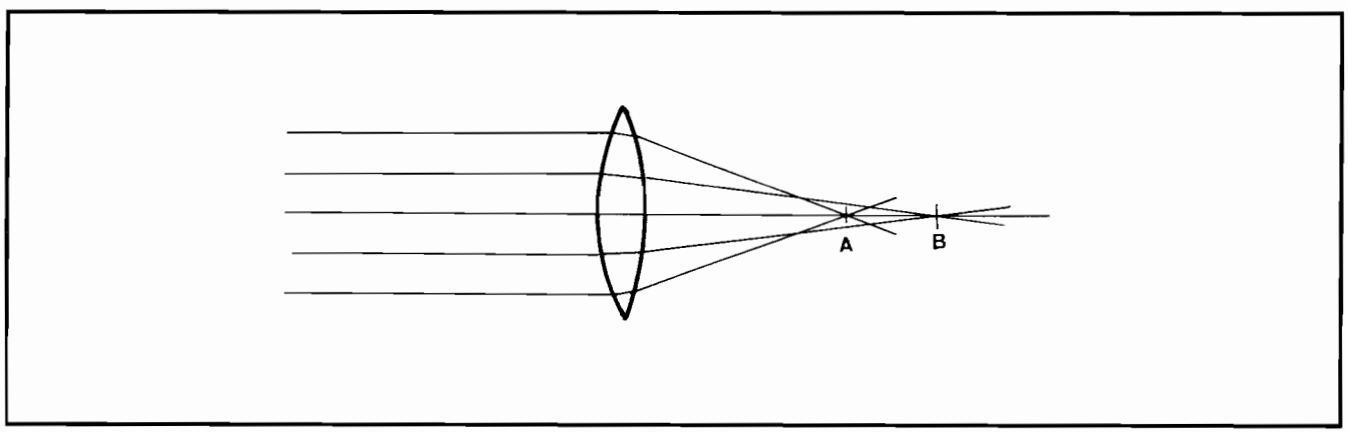


FIGURA 3.14 Aberración esférica

Aberración cromática En un sistema de lentes, la distancia focal no es la misma para todas las longitudes de onda. Así, el punto focal para el azul se hallará a una distancia más corta, que para el rojo o infrarrojo. (Fig. 3.15) Si un rayo de luz, atraviesa la lente de la cámara, este se descompone en sus diferentes longitudes de onda, afectadas cada una de ellas por una refracción ligeramente diferente, produciendo una imagen coloreada del punto objeto, debido a que los colores individuales se hallan fuera de foco en la fotografía. Las cámaras de alta calidad, corrigen este efecto en el diseño mismo de la lente, de manera que todas las longitudes de onda se hallen en el mismo punto focal.

Generalmente se habla de dos tipos diferentes de aberración cromática, una es llamada **Longitudinal o axial** que ocurre en puntos ubicados sobre el eje óptico, y el segundo tipo es la **aberración oblicua**, relacionada con los rayos oblícuos.

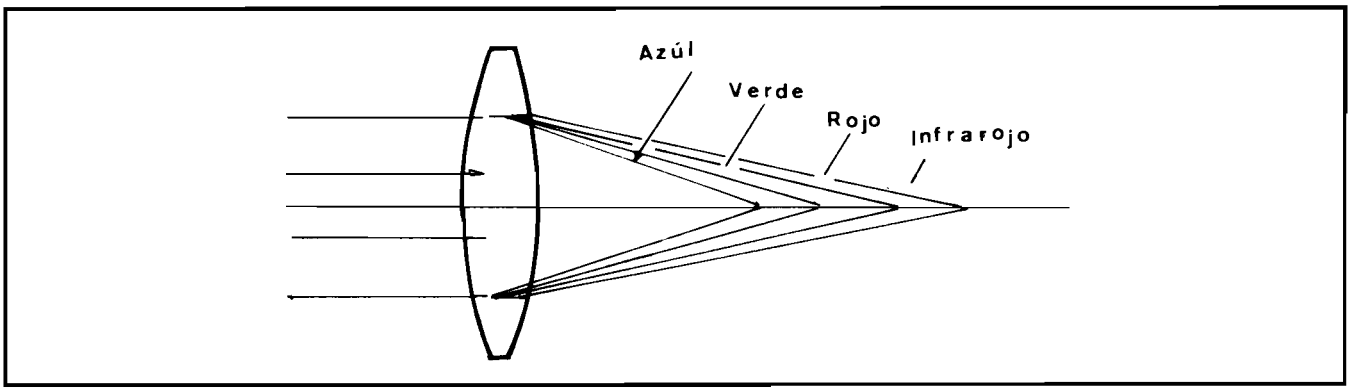


FIGURA 3.15 Aberración cromática

Error de Coma Cuando los rayos de un punto objeto, cortan al plano imagen en un punto diferente al que corta el rayo medio del mismo punto objeto, se produce el error de coma, que desfigura la imagen del punto alrededor de un solo eje. Su valor se mide por el ángulo β. (Fig. 3.16)

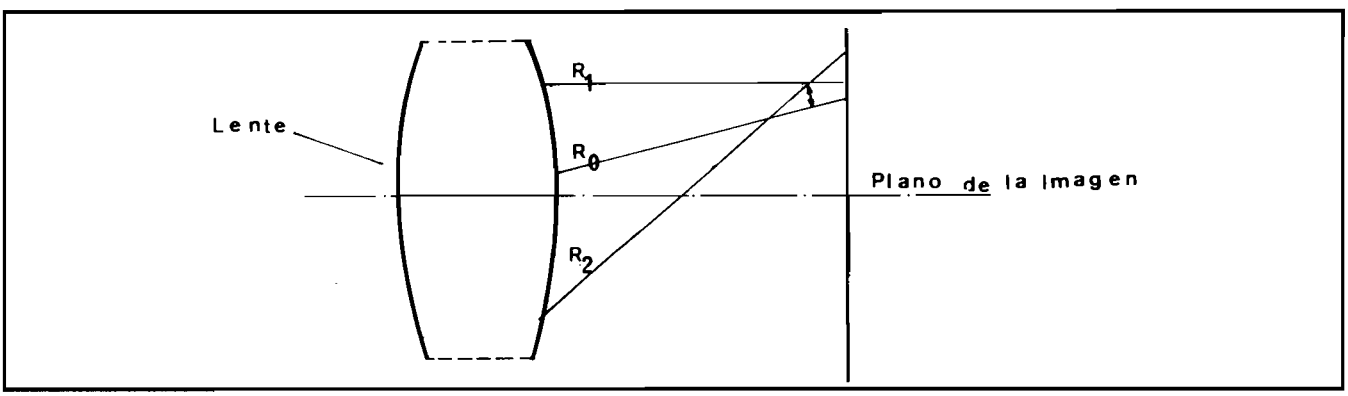


FIGURA 3.16 Error de coma

Astigmatismo Produce dos imagenes de un mismo punto objeto (A). Las imagenes corresponden a segmentos de dos rectas (P y R), entre las que existe un plano en el cual se forma un círculo llamado **Círculo de menor confusión** (h) (Fig. 3.17). Los círculos de confusión, que corresponden a los puntos del objeto en el campo de la lente, no se hallan sobre un mismo plano sino sobre una superficie curva denominada **Curvatura de campo**, que generalmente es siempre irregular, cambiando para las diferentes partes de la imagen.

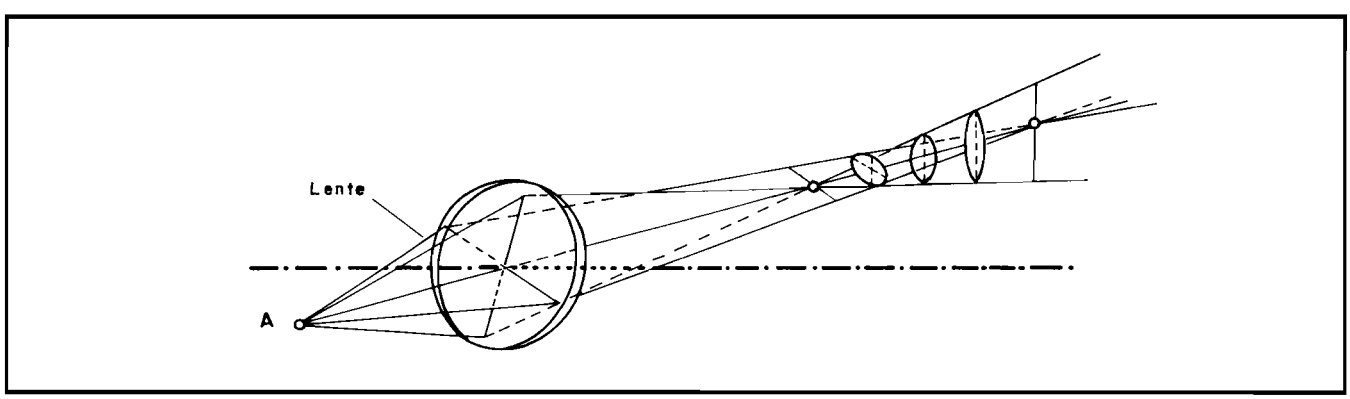


FIGURA 3.17 Astigmatismo

Distorsión La distorsión es un defecto de las lentes, que produce desplazamientos en la posición de los puntos, afectando a la precisión de las mediciones fotogramétricas que se realizan en las fotografías aéreas. Por ello es importante evitar la distorsión, si las fotografías aéreas van a ser utilizadas en la confección de mapas topográficos y planimétricos.

La distorsión puede ser radial o tangencial, en el primer caso el desplazamiento que sufre un punto es radial, mientras que la tangencial es la componente de la distorsión perpendicular a la dirección radial del punto.

b) **Obturador** Tiene por función controlar el tiempo en que la película fotográfica se halla expuesta a la luz. Se halla integrado por el **obturador** propiamente dicho y el **diafragma.**

El diafragma determina o limita el tamaño del haz de rayos que debe pasar a través de la lente.

Existen dos posiciones universales del obturador en la cámara fotográfica:

b1) Corresponde al obturador de **plano focal** que se halla ubicado muy cerca al plano focal de la cámara. También es llamado **obturador de cortina** cuyo material puede ser de tela o metálico, en cuya superficie se hallan varias ranuras, que se deslizan frente a la película mediante la acción de un resorte.

La velocidad del obturador o el tiempo de exposición está determinado por el tamaño de la abertura de la ranura y la velocidad de movimiento de la cortina. Este tipo de obturadores puede alcanzar muy altas velocidades; sin embargo, toda la película no es expuesta durante el mismo intervalo de tiempo. Por esta razón estos obturadores son utilizados en cámaras aéreas de reconocimiento, porque permite obtener tiempos de exposición muy breves. Las cámaras cartográficas por las mismas razones no emplean estos obturadores.

b2) El segundo tipo de obturador corresponde al llamado **interlentes** que es el obturador más simple, y se halla ubicado entre las lentes del objetivo. Es el que se emplea en las cámaras métricas o cartográficas, porque a diferencia del obturador de plano focal, permite formar toda la imagen al mismo tiempo, ya que todo el negativo es iluminado simultáneamente, de manera que satisface la condición de obtener una proyección central, requerida por la cámara métrica.

Se halla constituido por dos placas metálicas, entre las que se coloca el obturador y el diafragma. Ambos se hallan constituidos por un número variable de hojas conectadas entre sí, de manera que al abrirse en el primer caso y girar en el segundo forman orificios de sección circular de diámetros variables.

c) **Cuerpo de la cámara** Es la parte de la cámara que une el cono de la lente, el mecanismo de operación y el sistema de suspensión. El mecanismo de operación tiene como función hacer avanzar la película después de cada disparo, y operar el sistema de vacio para que la película quede completamente plana sobre el plano focal durante el momento de la exposición. (Fig. 3.12)

d) **Cono de la lente** Sirve de soporte al sistema de lentes y filtros, para mantenerlos en su correcta posición con relación a la película y permitir que la luz que pasa por el sistema de

lentes y filtros, seá la única que llegue al plano focal para impresionar a la película fotográfica.

El cono de la lente, generalmente puede ser cambiado para permitir el uso de lentes diferentes con el mismo cuerpo de la cámara.

El cono de la lente en las cámaras métricas, es un cono interno que contiene el objetivo y define el marco, que representa físicamente al plano focal de la cámara. El marco contiene además de las marcas fiduciales, la información básica relacionadas con las características de la cámara, de la toma fotográfica, etc. Entre ellas se puede nombrar a las siguientes: altímetro, reloj, nivel esférico, identificación de la cámara, número de fotografía, plan de vuelo, fecha, ubicación, indicador del funcionamiento del sistema de vacío.

e) **Magazine** Se emplea para almacenar la película expuesta y la virgen, además para controlar su movimiento. El magazine puede ser intercambiado durante el vuelo. El transporte de la película desde el rollo virgen al de la película expuesta, se lo realiza mediante la acción de un motor.

f) **Equipo accesorio** Las cámaras aéreas incluyen un equipo que generalmente es considerado como accesorio, aúnque su empleo es importante en toda misión de vuelo. Entre ese equipo accesorio se hallan el sistema de suspensión, los controles de la cámara e instrumentos auxiliares para la orientación.

Entre los componentes de los controles de la cámara se pueden citar a los siguientes: tablero de control, control de voltaje, el intervalómetro, ocular de observación o telescopio, y el sistema de control de exposiciones

Los instrumentos auxiliares para la orientación, utilizados para conocer con exactitud la inclinación de la fotografía aérea y la altura de vuelo terreno son los siguientes: Giroscopio, cámara de horizonte, estatoscópio, radar altímetro como parte integrante del registrador análitico de perfiles APR y un periscópio solar.

3.2.2.2.4.1 **Clasificación de las cámaras aéreas.-** Existen varios criterios que pueden ser utilizados para realizar la clasificación de cámaras. Esta clasificación no puede ser considerada la única y definitiva, ya que puede existir otros paramétros o puntos de vista, que permitan clasificarlas de modo diferente. Sin embargo la clasificación que se presenta, es muy utilizada para fines de enseñanza y adoptada por algunas universidades e institutos de enseñanza especializados en Percepción Remota.

Se han considerados varios parámetros o puntos de vista para realizar las siguientes clasificaciones:

a) considerando la inclinación del eje de la cámara

b) considerando el formato

c) considerando el formato y el campo angular de la lente

d) considerando su aplicación

e) considerando el tipo de material fotográfico utilizado

f) considerando el número de lentes (objetivos) y bandas espectrales.

3.2.2.2.4.1.a **Clasificación de las cámaras aéreas considerando la inclinación del eje de la cámara.-** Esta clasificación considera el ángulo de inclinación que forma el eje óptico de la cámara con referencia a la vertical, en el momento de la toma fotográfica. De acuerdo al valor del indicado ángulo, existen tres tipos de cámaras aéreas:

- Cámaras verticales
- Cámaras inclinadas
- Cámaras horizontales

En las **cámaras verticales**, el eje de inclinación de la cámara es menor a 3^{o} en el momento de la toma fotográfica.

Las **cámaras inclinadas** se caracterizan por que el ángulo de inclinación del eje óptico de la cámara, puede variar entre 3^{o} y 89^{o}. Pueden subdividirse en inclinadas u oblicuas de bajo y alto ángulo. En el primer caso el ángulo de inclinación varía entre 10^{o} y 20^{o}. En las cámaras oblicuas de alto ángulo, el valor del ángulo de inclinación es mayor a 20^{o}, se caracteriza porque registra el horizonte. Algunos autores utilizan el término inclinación convergente para señalar que la inclinación del eje es a lo largo de la dirección de vuelo, para diferenciarla de la oblicua, cuya inclinación del eje es en dirección perpendicular a la dirección de vuelo.

Las **cámaras horizontales** son cámaras diseñadas para la toma de fotografías horizontales, y corresponden a las cámaras fotogramétricas terrestres. Obviamente el eje de la cámara es horizontal y es utilizado en combinación con fototeodolitos.

3.2.2.2.4.1.b **Clasificación de las cámaras aéreas considerando el formato.-** Las cámaras aéreas pueden ser diseñadas para obtener fotografías aéreas en forma de recuadros individuales o de formato y en forma de fajas continuas o sin formato.

Las **cámaras con formato** suministran la información en recuadros generalmente cuadrados (23 x 23 cm) o rectangulares (18 x12 cm).

El cono de la lente en este tipo de cámaras, contiene el objetivo y define el marco o formato, que representa físicamente al plano focal de la cámara. La fotografía aérea contiene además de las marcas fiduciales, la información básica relacionadas con las características de la cámara y de la toma fotográfica.

En este grupo, las más importantes son:

a) **cámaras métricas**

b) **cámaras de reconocimiento.**

a) **Cámaras métricas** Llamadas también cámaras cartográficas, son las más utilizadas para propósitos civiles, especialmente en aquellos trabajos profesionales que requieren información de alta precisión, para ser utilizada en la confección de mapas topográficos o planimétricos, que constituyen la base en cualquier tipo de estudio.

Este tipo de cámaras fué diseñado para producir imagenes de alta calidad con un mínimo de errores ópticos y geométricos y una alta resolución.Todos los elementos de una escena son registrados simultáneamente.

Otra característica de esta cámara, es que ella está diseñada para obtener fotografías aéreas que tengan una sobreposición lateral, de manera que puedan ser observadas simultáneamente en pares para obtener una visión estereoscópica del modelo.

b) **Cámaras de reconocimiento** Son cámaras diseñadas principalmente para propósitos militares. Por esta razón, no es necesario que ellas tengan precisión geométrica, más importante es que tengan la capacidad de tomar fotografías en vuelos bajos de alta velocidad, y/o en condiciones desfavorables de iluminación.

Las **cámaras sin formato** son aquellas que producen en sus registros imagenes continuas de forma rectangular. A este grupo pertenecen las cámaras:

a) Panorámicas

b) Contínuas

a) **Cámaras panorámicas** Estas cámaras han sido diseñadas para cubrir áreas que corresponden a un campo de vista muy amplio de observación con registro de imagenes de alta resolución, que permite fotografiar en una sola exposición un área extensa.

El registro de las escenas se realiza mediante un sistema de barrido transversal a la línea de vuelo, utilizando para ello una lente, espejo o prisma giratorio, debiendo moverse la película a una velocidad que sea proporcional al desplazamiento del avión con relación al terreno, para lograr continuidad en la imagen.

Una condición que debe cumplir la cámara para mantener un foco claro y uniforme, es que el cuadro de la película expuesta debe estar sujetado en forma de arco, y no en la posición planar que tiene en las cámaras convencionales.

A consecuencia de ello la escala de la fotografía aérea vá disminuyendo progresivamente hacia los lados que se hallan a mayor distancia de la trayectoría del vuelo, por ello es que solo la parte central de la fotografía aérea es apta para realizar una interpretación detallada, ya que las variaciones en escalas y de detalle en los bordes de la fotografía son muy grandes. En general las fotografías tienen distorsiones geométricas grandes, que requieren ser corregidas antes de que ellas sean utilizadas para realizar mediciones. (Fig. 3.18)

b) **Cámaras contínuas** Obtienen la imagen, desplazando la película frente a una ranura fija que cumple la función de un obturador. (Fig. 3.19). La velocidad del movimiento de la película se halla sincronizada con la velocidad y altura del avión, para conseguir una correcta exposición. Como el ancho de la ranura es muy pequeño, la imagen registrada corresponde a una faja angosta del terreno, y el resultado es una faja continua de imágenes

sin formato, que sola no es utilizable para observación estereoscópica, a menos que se obtenga dos fajas contiguas. Se usa principalmente en reconocimientos militares.

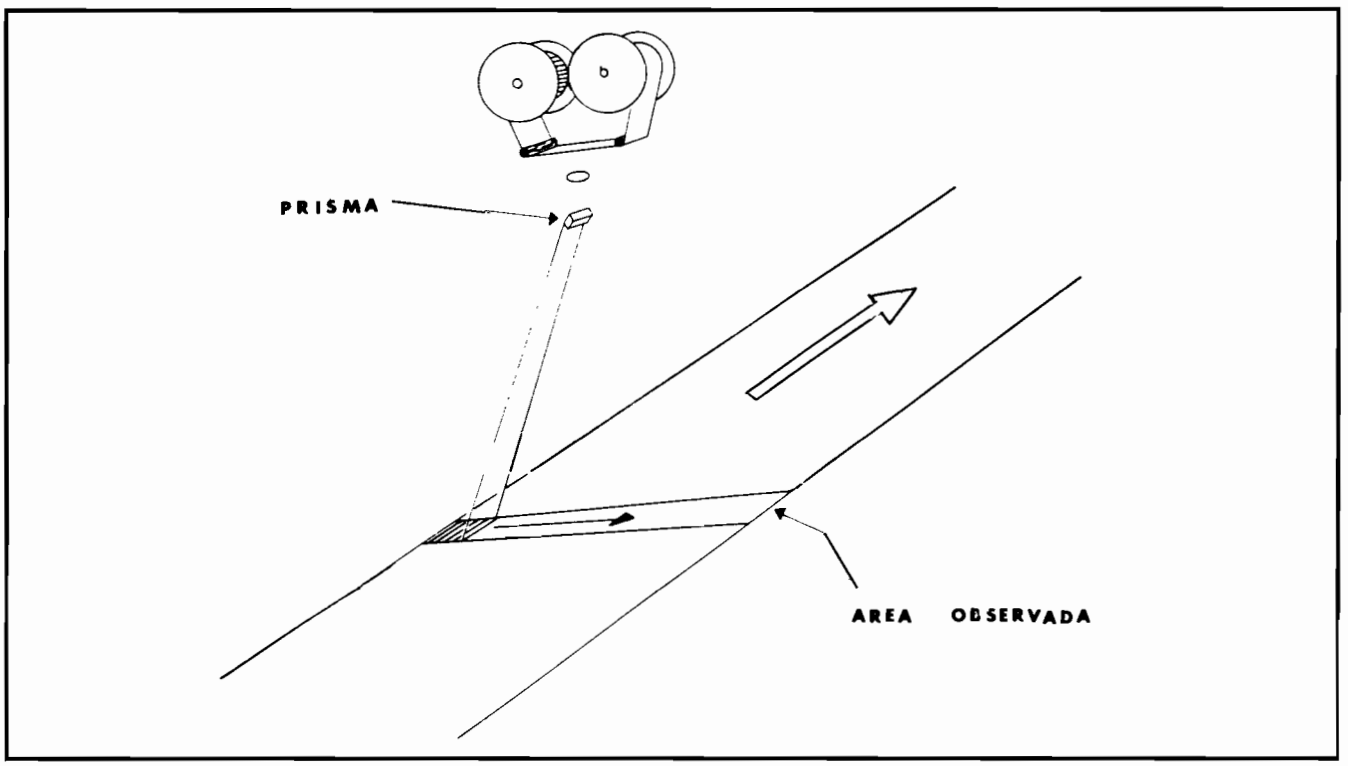


FIGURA 3.18 Cámara panorámica

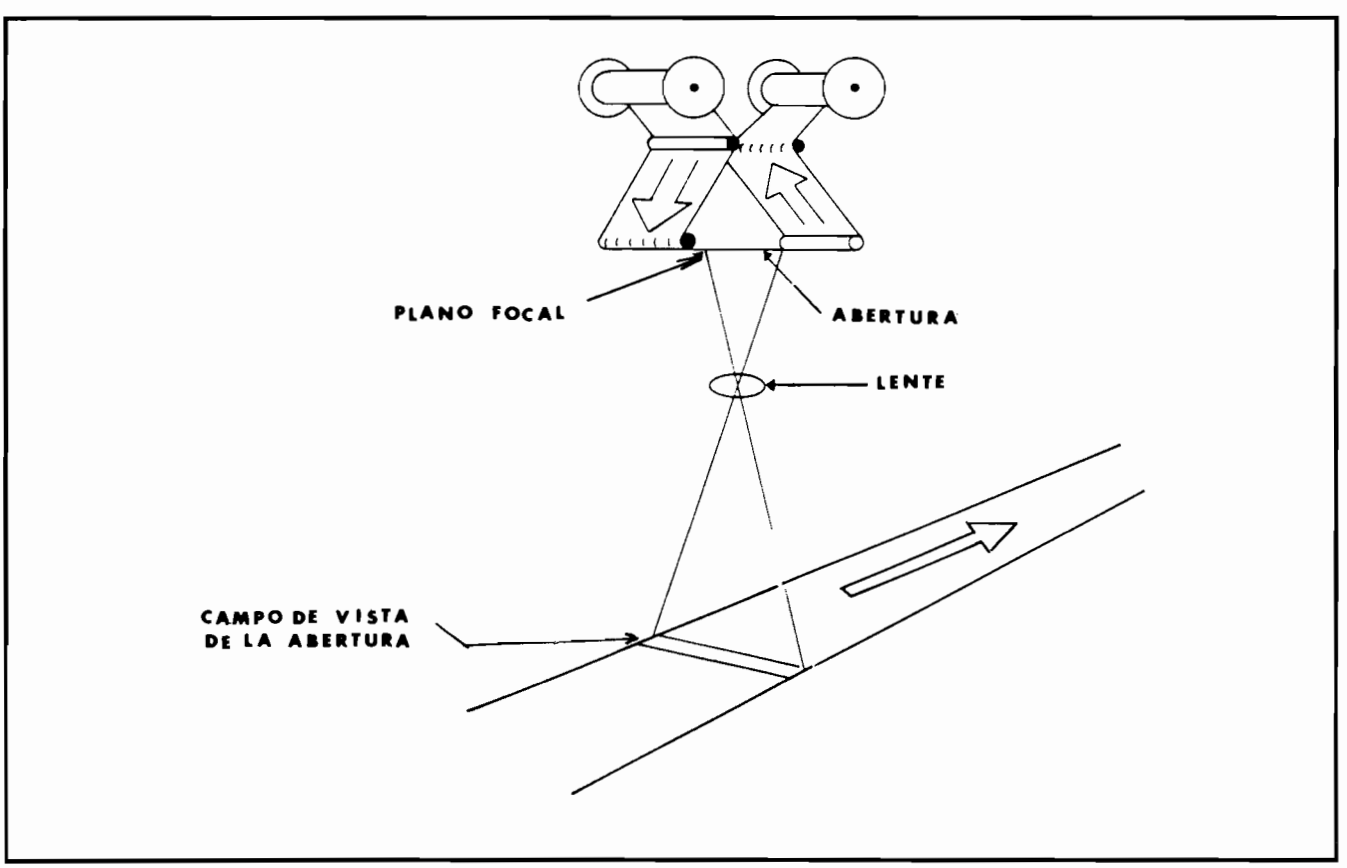
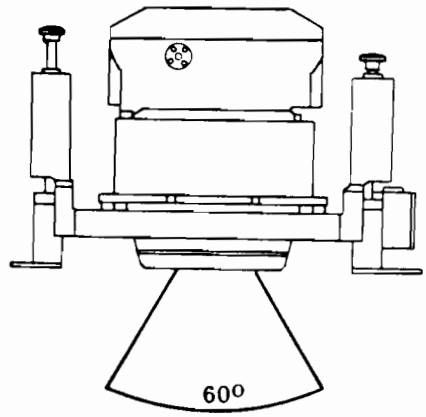
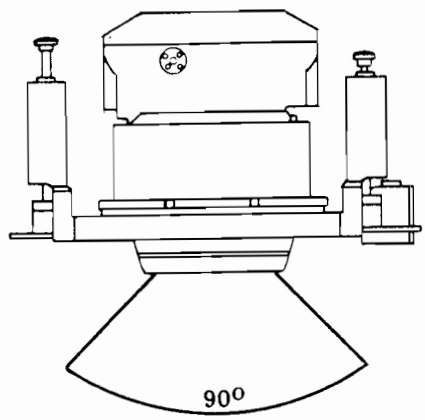


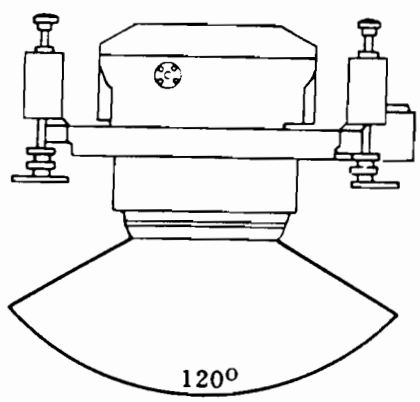
FIGURA 3.19 Cámara Contínua



CAMARA NORMAL



CAMARA ANGULAR



CAMARA GRAN ANGULAR

FIGURA 3.20 Tipo de cámaras en función del formato y del campo angular de la lente. (Deagostini 1971)

3.2.2.2.4.1.c **Clasificación de las cámaras aéreas considerando el formato y el campo angular de la lente.-** Se trata de una clasificación general que solo se la aplica para las cámaras con formato. De acuerdo a los valores del campo angular de la lente las cámaras se dividen en tres grupos: (Fig. 3.20)

- Cámaras normales cuyo campo angular es menor de 75^{o}
- Cámaras gran angulares con campos angulares entre 75^{o} y 100^{o}
- Cámaras super gran angulares de campo angular mayor a 100^{o}

3.2.2.2.4.1.d **Clasificación de las cámaras aéreas considerando su aplicación.-** Las cámaras aéreas son diseñadas para ser utilizadas en algún tipo muy específico de aplicación, así se puede señalar tres grupos de cámaras:

- Cámaras aéreas métricas o cartográficas, aplicadas especialmente en trabajos de fotogrametría y fotointerpretación, ya descritas anteriormente.
- Cámaras aéreas de reconocimiento, que también fueron descritas. Su principal aplicación es para fines militares.
- Cámaras aéreas especiales, que fueron diseñadas para fines muy específicos, como para ser utilizadas con algún tipo especial de películas (infrarrojo).

3.2.2.2.4.1.e **Clasificación de las cámaras aéreas considerando el tipo de material fotográfico utilizado.-** Según esta clasificación las cámaras pertenecen a dos grupos:

- Cámaras que utilizan películas fotográficas
- Cámaras que utilizan placas de vidrio

3.2.2.2.4.1.f **Clasificación de las cámaras aéreas considerando el número de lentes (objetivos) y bandas espectrales.-** Bajo ciertas condiciones, mediante el uso de las fotografías aéreas convencionales, no es posible realizar la separación o diferenciación entre algunos rasgos y materiales (rocas, bosques, suelos, zonas de alteración hidrotermal, etc.) por tratarse de diferencias muy ligeras, que son difíciles de captarlas en ese tipo de fotografías aéreas.

Sin embargo es sabido que existen diferencias muy ligeras en las características espectrales de reflectancia en estos materiales, que pueden ser detectadas en bandas espectrales más angostas que en las películas fotográficas corrientes.

En los últimos años, se han desarrollado una serie de cámaras con el propósito de obtener en forma simultánea varias fotografías de la misma área, en bandas más angostas del espectro visible y el infrarrojo cercano.

Todas estas cámaras diseñadas con varios objetivos, filtros, películas especiales, han dado lugar a una cámara que ha sido denominada **Cámara multiespectral.** o **Multibanda.**

Las cámaras multiespectrales, se caracterizan por no contar con un campo de vista amplio como el de la cámara métrica, obtiene varias fotografías simultáneas en diferentes bandas espectrales, cuenta con una combinación de varios lentes, filtros, películas para obtener la máxima información en cada una de las bandas espectrales.

Los obturadores de estas cámaras actuan simultáneamente.

Existen cámaras que han sido diseñadas con 2, 4, 6, 9 y hasta 16 objetivos, que divide las longitudes de onda del espectro visible y el infrarrojo cercano entre 0.4 a 0.9 μm en bandas muy angostas que en casos puede llegar a la amplitud de 0.1 μm.

Otro sistema diseñado para obtener información fotográfica multiespectral, es utilizando cuatro cámaras convencionales, cargadas con cuatro tipos de películas diferentes, (color, blanco y negro, color infrarrojo e infrarrojo blanco y negro) que son operadas simultáneamente. (Foto 3.5)

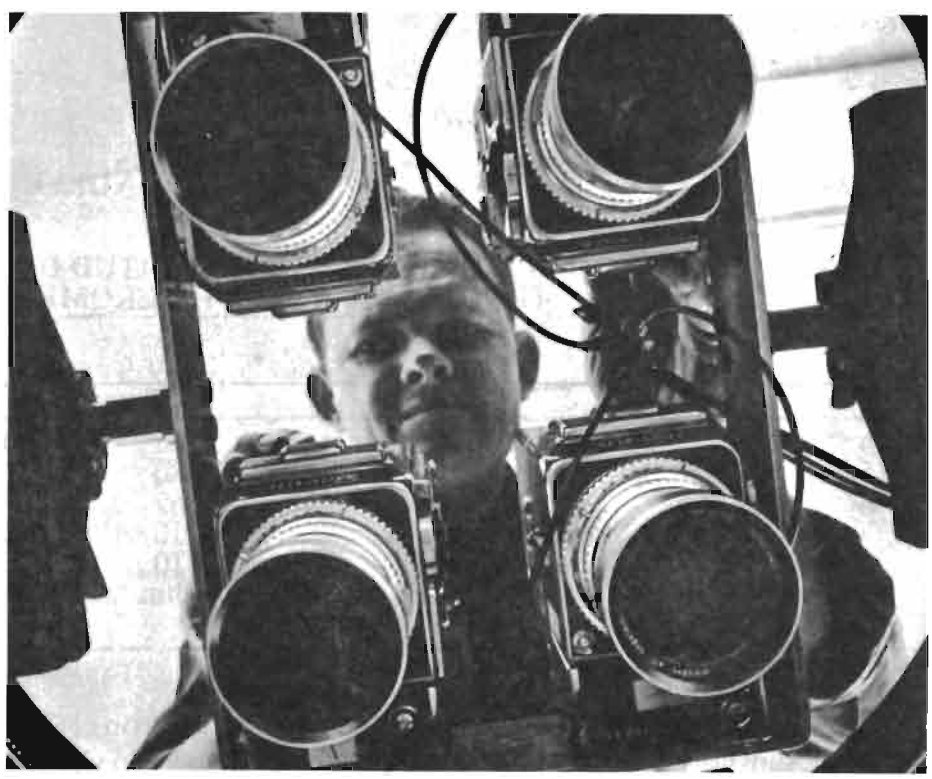


FOTO 3.5 Sistema multiespectral.- Cuatro cámaras convencionales, cargadas con cuatro tipos de películas diferentes (Color, pancromática blanco y negro, infrarrojo color, infrarrojo color o falso color)

Entre las principales cámaras multiespectrales o multibanda se pueden citar a las siguientes:

- Cámara Multiespectral MARK I - I^2S

- Cámaras Multiespectrales ITEK - 9L y 6L

La cámara multiespectral MARK II^{2}S se caracteriza por registrar en forma simultánea cuatro imagenes durante cada exposición. Las cuatro imagenes se hallan registradas en una sola película de marco cuadrado de 23 x 23 cm. de formato. (Fotos 3.6 y 3.7)

El cono de la lente se halla integrado por una montura para soportar cuatro lentes y sus respectivos filtros, verde, azul, rojo e infrarrojo. (Foto 3.6) Esta cámara utiliza una película infrarrojo blanco y negro.

Las imágenes que produce esta cámara pueden ser observadas, mediante el I^2 Mini Addcol que es un proyector de cuatro canales especialmente diseñado para analizar y evaluar estas imagenes. (Foto 3.8)

Cámaras Multiespectrales ITEK 9L y 6L Al igual que la anterior cámara, registran imagenes en varias partes del espectro visible e infrarrojo cercano. Pueden estar constituidas por 6 o 9 objetivos, produciendo 6 o 9 fotografías simultáneas en cada exposición, en diferentes bandas espectrales.

En el caso de la cámara de nueve lentes, se utilizan tres películas de 70 mm. En cada película se toman tres fotografías simultáneamente. Generalmente se utilizan dos películas pancromáticas y una infrarrojo blanco y negro. Cada una de las películas registra bandas espectrales muy angostas como las que se presentan en el Cuadro 3.2.

CUADRO 3.2

BANDAS SELECCIONADAS EN LA CAMARA ITEK DE NUEVE LENTES Y COMBINACION DE FILTROS

No DE BANDA	PELICULA (TIPO)	LONGITUD DE ONDA (MICROMETROS)
1	Pancromática	0.400 - 0.460
2	Pancromática	0.442 - 0.520
3	Pancromática	0.515 - 0.570
4	Pancromática	0.525 - 0.605
5	Pancromática	0.580 - 0.638
6	Pancromática	0.662 - 0.720
7	Infrarrojo ByN	0.710 - 0.890
8	Infrarrojo ByN	0.810 - 0.900
9	Infrarrojo ByN	(elimina la luz)

Si se comparan las ventajas y desventajas de las imagenes obtenidas con el Sistema fotográfico con los otros sistemas de sensores remotos descritos se pueden establecer lo siguiente:

- A pesar de los nuevos y sofisticados sistemas de registro de imagenes, la fotografía aérea sigue siendo la forma más segura y más ampliamente utilizada de todas las imágenes obtenidas por los diferentes sensores remotos.

- El uso rutinario de las fotografías aéreas tiene un valor incalculable como una de las fuentes de información más rápida y precisa relacionada con el paisaje, la características geológicas y geomorfológicas, y como base principal para la confección de mapas topográficos.



FOTO 3.6 Sistema multiespectral.- Cámara multiespectral I^2S Mark I, que registra en forma simultánea cuatro imágenes en cada exposición. Utiliza cuatro lentes con filtros diferentes (verde, rojo, azul e infrarrojo) y una película infrarrojo blanco y negro.



ROJO



VERDE



INFRARROJO



AZUL

FOTO 3.7 Fotografías multiespectrales obtenidas con la Cámara multiespectral I^2S. Cada fotografía corresponde a filtros diferentes (rojo, verde, infrarrojo y azul). Escala 1:200000

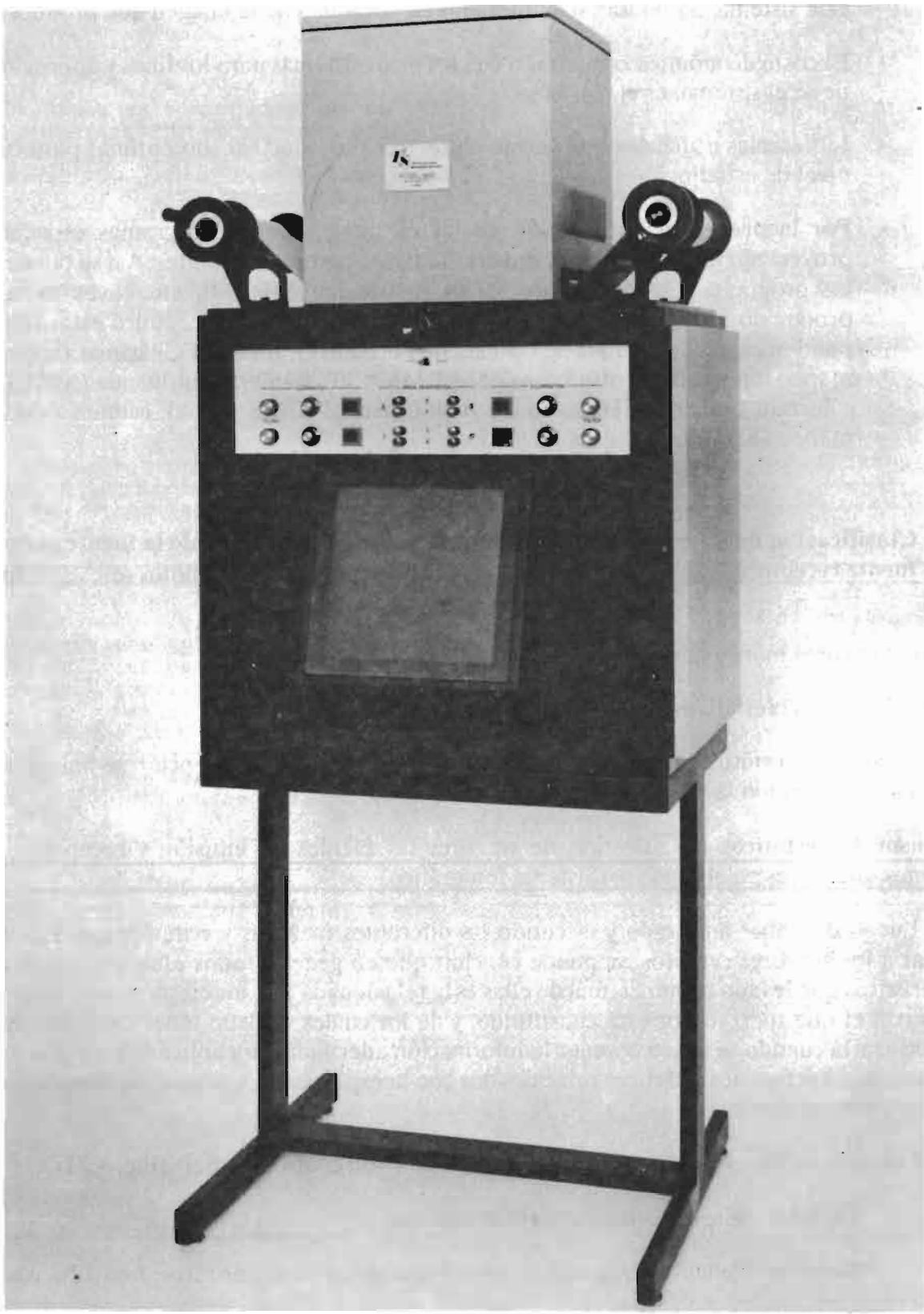


FOTO 3.8 I^2 Mini-Addcol. Proyector de cuatro canales para analizar imágenes de la cámara multiespectral I^2S.

- Mientras los otros sistemas no lleguen a superar los valores de resolución que tiene este sistema, no podran ser superados en la calidad de la imagen que produce.

- El costo económico comparado con los otros sistemas para los fines y aplicaciones que tiene el sistema, es el más bajo.

- Las escalas utilizadas que varian entre 1: 5000 y 1:60000 son óptimas para cualquier nivel de estudio.

- Por la precisión y resolución de las cámaras, muchos programas espaciales han proyectado la instalación de cámaras fotográficas en sus satélites. Así se puede señalar los programas Soyuz, Skylab, Salyut, , Spacelab, SIR - B, etc. cuyas cámaras han producido fotografías espaciales de alta calidad y resolución. Entre estas cámaras se pueden citar a las siguientes: Cámara de Formato Grande (LFC); cámara métrica para mapeo topográfico y ortofotos (Zeiss RMKA 30), cámara multibanda (MKF6), Earth - Terrain Cámara (ETC), cámara multiespectral (CMS - 90A), cámara métrica para mapeo (KATE). (Cuadros 1.1 y 1.2)

3.2.3 **Clasificación de los sensores remotos en función de la ubicación de la fuente emisora y la fuente receptora.-** De acuerdo a esta clasificación los sensores remotos se clasifican en dos grupos:

a) Sensores monoestáticos

b) Sensores biestáticos

Los sensores monoestáticos son aquellos cuyas fuentes de emisión y recepción se hallan ubicadas en el espacio ocupando la misma posición. (Sistema radar)

Los sensores biestáticos En este tipo de sensores las fuentes de emisión y recepción ocupan posiciones diferentes en el espacio. (Sistema fotográfico)

Luego de haber analizado y discutido las diferentes maneras y criterios que existen para clasificar a los sensores remotos, se puede concluir que en general todos ellos presentan algunas características que les son comunes, una de ellas es la relacionada con los elementos o componentes básicos con el que todo sensor está constituido, y de los cuales se debe tener conocimiento para poder utilizarla cuando se desea obtener la información adecuada para aplicarla en algún proyecto de investigación o trabajos prácticos relacionados con la exploración, evaluación, manejo y control de los recursos terrestres.

Los componentes básicos generales de un sensor son cuatro, a saber: (Fig. 3.21)

- **Colector** (Espejos, lentes, prismas, antenas)

- **Detector** (Películas fotográficas, fotoconductores, pares térmicos, fotovoltaicos, etc.)

- **Procesador de señales** (amplificadores, resistores de carga,etc)

- **Salida de información** (fotografías, imagenes, espectrógramas, cintas magnéticas)

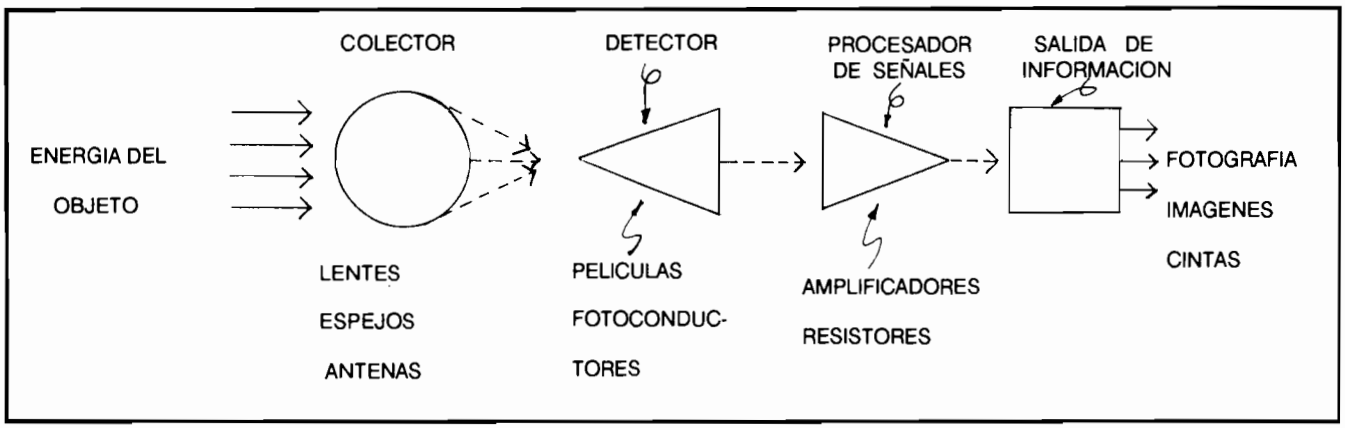


FIGURA 3.21 Componentes básicos de los sensores remotos

3.3 DETECTORES DE RADIACION ELECTROMAGNETICA

Los detectores de radiación electromagnética empleados en percepción remota, son aquellos materiales que son utilizados para determinar la cantidad de energía recibida en un intervalo de tiempo dado, para lo cual el indicado material debe tener la capacidad y habilidad de absorber esa energía radiante, de manera que las condiciones del indicado material se alteren y puedan ser monitoreadas.

El término Detector en percepción remota, se refiere a la acción que realiza un determinado material para captar la energía radiante y convertirla en una forma de energía almacenada y localizada para propósitos de monitoreo.

Por lo tanto los detectores son los componentes fundamentales de cualquier tipo de sensor remoto. Un detector de radiación puede ser una película fotográfica, en el cual se utiliza un proceso fotoquímico para convertir la energía en una imagen. Los detectores de fotón convierten la radiación en señales eléctricas que son muy utilizadas en sistemas de percepción remota digital.

Los detectores que se emplean en percepción remota son de dos tipos:

a) Detectores de fotón o cuánticos

b) Detectores termales

3.3.1 **Detectores termales.-** El funcionamiento de este detector se basa en el cambio de una propiedad física (resistencia o fuerza termoeléctrica) del detector a medida que cambia su temperatura propia. Este detector cambia su temperatura en respuesta a la radiación incidente y en la mayoría de los casos su resistencia eléctrica es una función de su temperatura. La ventaja que tiene es que su respuesta no es función de una sola longitud de onda de la radiación que llega, sino responde a todas las longitudes de onda de la radiación.

Por el contrario este tipo de detectores tiene la desventaja de no tener una respuesta rápida a los cambios veloces que muestra la radiacíon que llega al sensor, siendo generalmente menos sensitiva que un detector cuántico o de fotón. Entre los detectores termales se hallan los pares térmicos, pila térmica, bolómetros de banda de metal, termistor y ferroeléctricos.

3.3.2 **Detectores cuánticos o de fotón.-** Son detectores más sensibles, se caracterízan por su respuesta rápida y por esta razón son muy utilizados en los sistemas númericos orientados de percepción remota. La radiación es convertida directamente en señales eléctricas, en vez de serlo por la via de algún proceso dependiente de la temperatura.

Se trata de semiconductores que cuentan la cantidad de fotones que chocan contra un elemento sensible. Los fotones que chocan con el detector cuántico interactúan con la red de cristal, liberando los electrones. Entre estos detectores se encuentran los tubos foto-emisivos, películas fotográficas, celdas solares, tubos de cámaras vidicon y principalmente muchos de los detectores infrarrojos de alta velocidad. La película fotográfica será ampliamente discutida en el proximo capítulo. Por ello a continuación se harán solo alguna consideraciones sobre las características de los detectores infrarrojos.

3.3.2.1 **Detectores infrarrojo.-** El componente principal de cualquier sistema infrarrojo es el detector, que se emplea para convertir la energía radiante en una señal eléctrica, que luego es transformada en algún tipo de información.

Existen muchos tipos de detectores infrarrojos, con diferentes parámetros y características de operación. Para entender la operación de estos detectores, es conveniente revisar algunos términos utilizados.

Señal (S) La señal es el voltaje generado por un detector infrarrojo relacionada con la energía infrarroja que choca contra el mismo. Dicha señal varía de acuerdo al tamaño del detector, su temperatura, modulación y constante del tiempo.

Sensibilidad (RV) Es la razón entre la salida de la señal a un flujo radiante incidente. Se expresa en voltios por vatio.

$$\mathbf{RV = S/J}$$

RV = Sensibilidad
S = Voltaje del detector
J = Flujo radiante incidente

Ruido (N) Es el voltaje generado por el detector como resultado de su resistencia, temperatura, ancho de banda y su modulación.

El ruido es independiente de la energía recibida por la señal. Existen cinco fuentes básicas de ruido eléctrico:

1) Ruido Johnson
2) Ruido corriente
3) Ruido de fotón
4) Ruido de agitación térmica
5) Ruido de fondo o de ambiente.

Temperatura Algunos detectores infrarrojos están colocados en bases termoeléctricas o en Dewar para funcionar a temperaturas menores de 295^{o} K. El enfriamiento del detector disminuye el voltaje

de su ruido y por lo tanto aumenta su razón S/N y su detectividad. Algunas temperaturas comunes de detectores colocados en Dewar son:

195 ^{o}.K	Dióxido de carbono	(78^{o} C)
77 ^{o}.K	Nitrógeno líquido	(196^{o} C)
4^{o}.K	Helio líquido	(269^{o} C)

Relación Señal-Ruido (S/N) Esta relación dá la información relacionada con la calidad del detector. Cuanto mayor seá el valor de esta proporción, la calidad del detector será mejor.

Entrada equivalente de Ruido (NEI) Corresponde a la cantidad de radiación incidente en un detector infrarrojo que producirá una razón de señal-ruido equivalente a la unidad.

$$\mathbf{NEI = JN/S}$$

J = Flujo de energía incidente
N = Voltaje del ruido
S = Voltaje de señal

La unidad de medida es en vatios por centímetro cuadrado.

Energía equivalente al ruido (NEP) Es similar a la NEI excepto que la energía incidente se mide en vatios, en vez de vatios por centímetro cuadrado.

$$\mathbf{NEP = JNA/S}$$

J = Flujo de energía incidente
N = Voltaje del ruido
S = Voltaje de señal
A = Area del detector

Detectividad (D) Es la recíproca de la energía equivalente al ruido o sea :

$$\mathbf{D = 1/NEP}$$

Constante de tiempo Una constante de tiempo es el tiempo que se requiere para que una señal llegue al 63 % de su máximo.

La reacción de frecuencia de un detector infrarrojo depende de su constante de tiempo.

Reacción Espectral Cada detector reacciona en forma diferente a las distintas longitudes de onda de radiación incidente. La figura 3.22 presenta algunas curvas de reacción espectral de algunos detectores infrarrojos.

3.3.2.1.1 **Tipos de detectores infrarrojos cuánticos.-** Los detectores infrarrojos cuánticos o de fotones emplean tres técnicas para la detección de fotones y ellas son : Fotoconductoras, fotovoltaícas y foto electromagnéticas.

El efecto fotoconductor es el aumento de conductividad eléctrica de un semiconductor, debido al aumento de los libreportadores, causados por la radiación incidente.

El efecto fotovoltaíco, produce una separación de cargas y por lo tanto un nivel de voltaje.

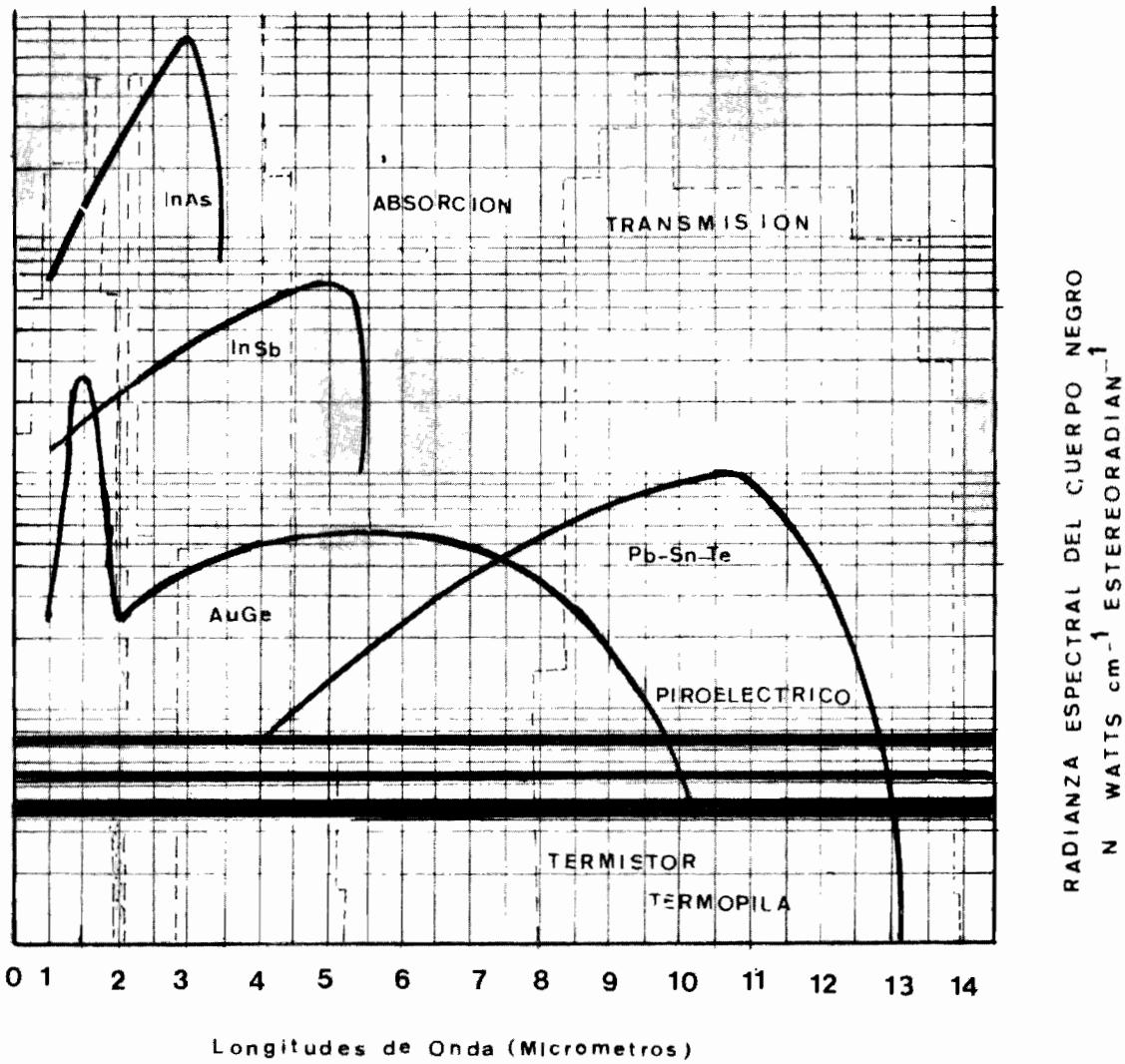


FIGURA 3.22 Detectores (Infrarrojo termal)

El efecto fotoelectromagnético es también un fenómeno de difusión que ocurre cuando la radiación cae sobre un semiconductor que se halla dentro de un campo magnético.

Los detectores fotoelectromagnéticos y los fotovoltaícos generan su propio voltaje que se relaciona con la radiación incidente sobre ellos. Los detectores fotoconductivos requieren tensión de polarización para producir una señal de voltaje.

Los principales detectores infrarrojos son los siguientes:

Sulfuro de Plomo (PbS) Es tal vez el más común de todos los detectores fotoconductivos infrarrojos. Pueden funcionar a temperaturas ambiente, o se pueden enfriar para aumentar su detectabilidad.

Seleniuro de Plomo (PbSe) Son fotoconductivos y se fabrican de igual manera que el detector anterior.

Antimoniuro de Indio (InSb) Posiblemente es el más versátil de todos los detectores infrarrojos que puede ser usado ya sea como detector fotoconductivo, fotovoltaíco o fotoelectromagnético. Se pueden enfriar o usar a temperatura ambiente. (Fig. 3.22)

Detectores revestidos de Germanio Es posible construir detectores fotoconductores sensibles, de longitud de onda larga, usando el Germanio como el semiconductor principal y Cobre o Mercurio como los átomos impuros. Funcionan a temperaturas cercanas a los 40^{o} K. El Germanio también puede ser revestido con Oro, Zinc o Cadmio. (Au:Ge) (Zn:Ge) y (Cd:Ge). (Fig. 3.22)

Telúrido de Cadmio y Mercurio (HgCdTe) Son fotoconductores que funcionan a temperaturas de 77^{o} K .

3.4 CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE OBTENCION DE DATOS EN PERCEPCION REMOTA

A través de estos capítulos, se ha análizado la forma en que la radiación electromagnética es utilizada en percepción remota, para poder obtener información sobre las características de la superficie terrestre. Se ha hablado de la interacción que ocurre entre la radiación electromagnética con la atmósfera y los materiales de la superficie terrestre. Se ha remarcado que los sensores remotos captan o detectan fundamentalmente radiación reflejada o emitida, la cual es luego transformada en algunos casos mediante procesos fotoquímicos en **información gráfica** y en otros casos se producen señales eléctricas, que luego de ser amplificadas por sistemas electrónicos, son filtradas o moduladas electrónicamente, para ser presentadas en **forma digital.**

Estos dos tipos de registro **gráfico** y **digital**, son el producto final que la percepción remota entrega como información a los investigadores para su uso en los campos específicos de sus especializaciónes.

3.4.1 **Registro gráfico** Este registro es el más común cuando se opera con radiaciones del espectro visible y el infrarrojo cercano, las cuales son detectadas por el sistema fotográfico, mediante el uso de emulsiones o películas fotográficas, superficies fotosensibles o pantallas de televisión. El producto final que se obtiene luego del procesamiento, es la **Fotografía aérea** que es utilizada para diferentes propósitos, tanto en fotogrametría como en fotointerpretación.

3.4.2 **Registro digital** Por lo general los datos registrados en forma digital, provienen de los sistemas multiespectrales, infrarrojo termal y microondas activo (Radar).

Para obtener un registro digital, las señales eléctricas producidas por el sensor, son recibidas en forma numérica, almacenadas para el subsecuente procesamiento digital. Las señales eléctricas son referidas como funciones análogas y el proceso de transformar estas funciones análogas en un formato digital es denominado proceso de **Conversión Analógica a Digital**, también llamada **digitalización.**

Este proceso es el que normalmente ocurre cuando se opera con sistemas que no son fotográficos. Los datos adquiridos ya sean en aviones o satélites pueden ser obtenidos en formatos digitales. Espacialmente estos datos están compuestos por elementos individuales discretos de imagen más conocidos como **PIXEL**, mientras que radiométricamente están cuantificados en niveles discretos o separables de brillo.

Se debe recalcar que cualquier tipo de información, que originalmente no se halle en formato digital, incluyendo las de formato gráfico, pueden ser digitalizados mediante equipos de digitalización tales como los microdensitómetros de barrido.

Los datos de los satélites, generalmente se obtienen por telemetría en forma digital. Las señales eléctricas de los detectores son digitalizadas a bordo del satélite, codificados en un sistema de modulación y transmitidas a estaciones receptoras terrenas.

Si se analiza la información que se puede obtener de los registros tanto gráfico como digital, es posible establecer que ellos contienen información relacionadas con los siguientes aspectos:

- Información espacial
- Información radiométrica
- Información temporal
- Información espectral
- Información geométrica

Información espacial Este término se utiliza para referirse al tamaño del área más pequeño que puede ser registrado separadamente como una unidad o entidad en la imagen.

Cuando los datos se hallan disponibles en forma digital, el concepto del término espacial se refiere al tamaño más pequeño que puede tener un Pixel que por definición es la unidad real mas pequeña o elemento individual separable o discreto de imagen. (Foto 3.1)

En el caso del sistema fotográfico, el concepto espacial está relacionado con la calidad de la imagen, y mejor expresado en los conceptos sobre Resolución espacial que se definen posteriormente.

En ambos casos la información espacial se halla relacionada con la habilidad para identificar los diferentes rasgos que se hallan registradas en la imagen tales como la calidad de la forma, tamaño, orientación, textura, carreteras, lineamientos sistemas de fracturas, diseños de drenaje.

Información radiométrica La cantidad y calidad de información que se puede obtener de una imagen, también depende de las diferencias en brillo entre los objetos y rasgos del terreno, y por ende del contraste registrado entre los objetos. Estas diferencias de brillo tienen valores asignados, en este caso se puede hablar de **niveles de brillo** que pueden ser captados ya sea visualmente, en forma cualitativa (Fotointerpretación) o cuantificarlos utilizando procesamiento digital mediante sistemas de programación computarizada. En el formato digital las diferencias de brillo pueden llegar a identificar 256 niveles de brillo, que mediante la identificación visual solo llega a 16 niveles de brillo.

En el formato digital las diferencias de brillo, pueden ser tratadas como **valores númericos** que pueden ser cuantificados en niveles discretos de brillo, los que pueden ser convenientemente sumados, restados, multiplicados o divididos y en general sujetos a manipulaciones estadísticas, que no es posible realizar con formatos gráficos, como en las fotografías aéreas.

De igual manera que en el caso anterior, cada Pixel puede ser examinado individualmente para juzgar sus atributos cuando la información radiométrica quiere ser mejorada, para lo cual se debe necesariamente alterar el rango del contraste ocupado por los pixels en una imagen.

Información espectral Este tipo de información se halla relacionada con las diferencias espectrales que muestran los diferentes materiales registrados ya sea en formato gráfico o digital. Se utiliza el término **Rúbrica espectral o Firma espectral** para referirse a la respuesta espectral de un material con relación a un determinado rango de longitudes de onda.

Información temporal En la naturaleza, la mayoría de los objetos o fenómenos, cambian en sus características a través del tiempo, por varias razones. Un ejemplo de ello, es lo que ocurre con la vegetación, cultivos y bosques, que de acuerdo a las estaciones del año, van mostrando diferentes características en sus formas, color y comportamiento. Otro ejemplo es la modificación que ocurre con las formas de relieve, cuando son sometidas a la acción de los procesos de erosión o del hombre. Un tercer ejemplo y muy importante es el relacionado con los períodos de inundación que sufren varias regiones, a consecuencia de la crecida de los ríos. Estos cambios pueden ser visualizados en mejores condiciones en ciertos períodos de tiempo que en otros, para ello es imprescindible contar con un registro de esta información en diferentes épocas del año.

El uso de esta información temporal, es de gran ayuda en cualquier tipo de estudio, porque ella puede permitir el desarrollo de procedimientos de análisis, basados en estas variaciones de tiempo, las que a su vez definen también diferentes comportamientos espectrales, radiométricos y espaciales en la imagen, los cuales no pueden ser ignorados.

3.5 RESOLUCION DE LA IMAGEN

La cantidad de información que una imagen pueda contener depende fundamentalmente en gran parte de la resolución de la imagen.

El término Resolución de la imagen en un sentido general y amplio, puede ser definido como la habilidad que tiene un sistema en percepción remota para registrar el detalle más fino de la escena sensada.

Es muy importante comprender tanto el aspecto teórico como práctico de este concepto, cuando se desea aprovechar al máximo la información que ofrecen imágenes y fotografías aéreas cuando ellas son examinadas.

Si se analiza con cuidado la definición dada anteriormente, se observará que el concepto de resolución se refiere al sistema en su integridad y no a sus componentes individuales. Por ello en la mayoría de los casos, no tiene mucho sentido poner solo atención en el poder de resolución de la lente, ya que existen otros elementos como la película que también influye en la resolución de todo el sistema fotográfico en este caso.

Por lo tanto existe una diferencia entre resolución que se refiere al sistema en su totalidad y poder de resolución que solo se refiere a un componente del sistema, como el poder de resolución de las lentes o de las películas.

La resolución puede también ser expresada en función de las características espaciales, radiométricas y espectrales de una imagen, y cuyas definiciones son las siguientes:

- **Resolución Espacial** se refiere al tamaño más pequeño de un objeto que puede ser identificado en una imagen, que en la práctica se refiere a la mínima separación o distancia entre dos objetos que un sensor puede registrar para ser individualizado en la imagen o fotografía. Este valor puede ser calculado y es denominado **Resolución del terreno**. La resolución espacial que se quiere aplicar para un determinado tipo de estudio, debe tomar en cuenta aquellas características por las cuales un objeto debe ser registrado para ser detectado, identificado, reconocido y analizado. Por ello se define el sentido en que se usan estos términos: **Detección:** determina sí algo está presente o ausente. Técnicamente es la habilidad que tiene un sistema para captar la presencia o ausencia de una señal.(Señal es el elemento de información espectral en una imagen). **Reconocimiento**: es la habilidad del sistema para identificar una señal.

- **Resolución Radiométrica** definida como la habilidad del sistema para registrar el máximo de niveles de brillo. Si se considera los efectos de las variaciones de la iluminación, el rango radiométrico dinámico de un sensor está determinado por el valor de máxima radianza que los sistemas de sensores remotos pueden experimentar para una banda espectral determinada.

- **Resolución Espectral** Se refiere a la capacidad que tiene un sensor para definir los intervalos más angostos de un rango de longitudes de onda. Por ejemplo un barredor multiespectral que opera con 8 bandas en el rango del espectro visible, tendrá una resolución espectral más fina que otro barredor que solo opera con 4 bandas en el mismo rango del espectro visible. El Mapeador Temático TM del Landsat 5, es de una resolución espectral más fina que el barredor multiespectral MSS del mismo satélite.

- **Resolución Temporal** El uso de la resolución temporal de un sistema de sensores para una aplicación determinada, tiene importancia más que todo en las decisiones que se deben tomar para definir las características de la resolución espacial, espectral y radiométrica que las imagenes deben tener para cumplir con los propósitos de ese estudio.

Es importante notar que no existe ninguna dependencia entre estos tipos de resolución, es decir que en los diferentes sistemas de percepción remota, los valores de un tipo de resolución pueden variar en su calidad, y no necesariamente un sistema que posea una resolución espacial alta deba tener también valores altos en las otras. Por ejemplo en el sistema fotográfico, el tamaño del grano de la emulsión fotográfica determina, el poder de resolución espacial de la imagen. Una emulsión de grano fino, tendrá una alta resolución, por el contrario la resolución radiométrica disminuye, lo que se traduce en un rango más bajo de brillos registrados en la imagen.

Los barredores lineales, para obtener una resolución alta, deben reducir su campo instantáneo de vista (IFOV), pero al mismo tiempo deben modificar otros parámetros para que los niveles de energía que lleguen al sensor sean suficientes para producir una buena imagen, para ello se debe ampliar el rango de longitudes de onda que deben llegar al sensor, lo que significa que se esta bajando la resolución espectral.

Todo esto permite concluir que la Resolución depende de varios factores relacionados no solo con el tipo de sensor, sino con otros factores como:

- Las características del paisaje o la escena registrada.

- Condiciones de vuelo (altura y velocidad)

- Dimensiones del área cubierta
- Precisión métrica de la imagen
- Condiciones atmosféricas
- Contraste

Contraste Este es el factor más importante que afecta en forma directa a la resolución espacial y radiométrica.

El contraste se define como la diferencia en brillo que existe entre el objeto y su contorno. En esta definición, el término contraste, se refiere al observado en la escena misma, y nó al que se observa en la imagen que registra esa escena. De acuerdo a ello el contraste en un paisaje determinado tiene características dinámicas, ya que puede cambiar en función de factores como:

- La forma y dimensión del objeto (relación entre la longitud y el ancho). Generalmente rasgos largos y delgados, como líneas de ferrocarril, carreteras, ríos, son visibles en las imagenes tomadas tanto desde satélites como de aviones, a pesar del tamaño de estas formas, que son inferiores a la resolución espacial nominal de esa imagen. La razón para que pueda identificarse ese registro en la imagen, se debe única y exclusivamente al contraste máximo que existe entre esos rasgos y sus contornos, que ocasiona un cambio en la radianza total de un pixel dado, de manera que el objeto a pesar de su tamaño se vuelve detectable. Lo contrario puede ocurrir si los objetos tienen contrastes muy bajos con su contorno.
- La regularidad de la forma es otro factor que favorece el registro del detalle fino.
- El número de objetos que integra un determinado diseño, es otro factor que controla la cantidad de detalle que el sensor puede registrar. Por ejemplo, la cantidad innumerable de pequeños ríos y el arreglo espacial que ellos tienen favorecen su registro en la imagen en detalle.
- La extensión y uniformidad de la zona que rodea al objeto, contribuye a resaltar el objeto y su detalle fino.

El contraste entre los objetos puede ser calificado como de alto contraste, bajo contraste o contraste medio, en función de la relación que existe entre el brillo máximo del objeto y la zona más oscura de la imagen. Este valor recibe el nombre de **Relación de Contraste** y es expresada por la siguiente fórmula:

$$C_r = B_{max}/B_{min}$$

La figura 3.23 muestra la relación de contraste que corresponde a un valor de alto contraste.

Como se señaló anteriormente la Resolución también depende del tipo de sensor. Por ejemplo la resolución de una fotografía aérea está determinada por las características de la cámara fotográfica, calidad de las lentes y el tipo de película utilizada.

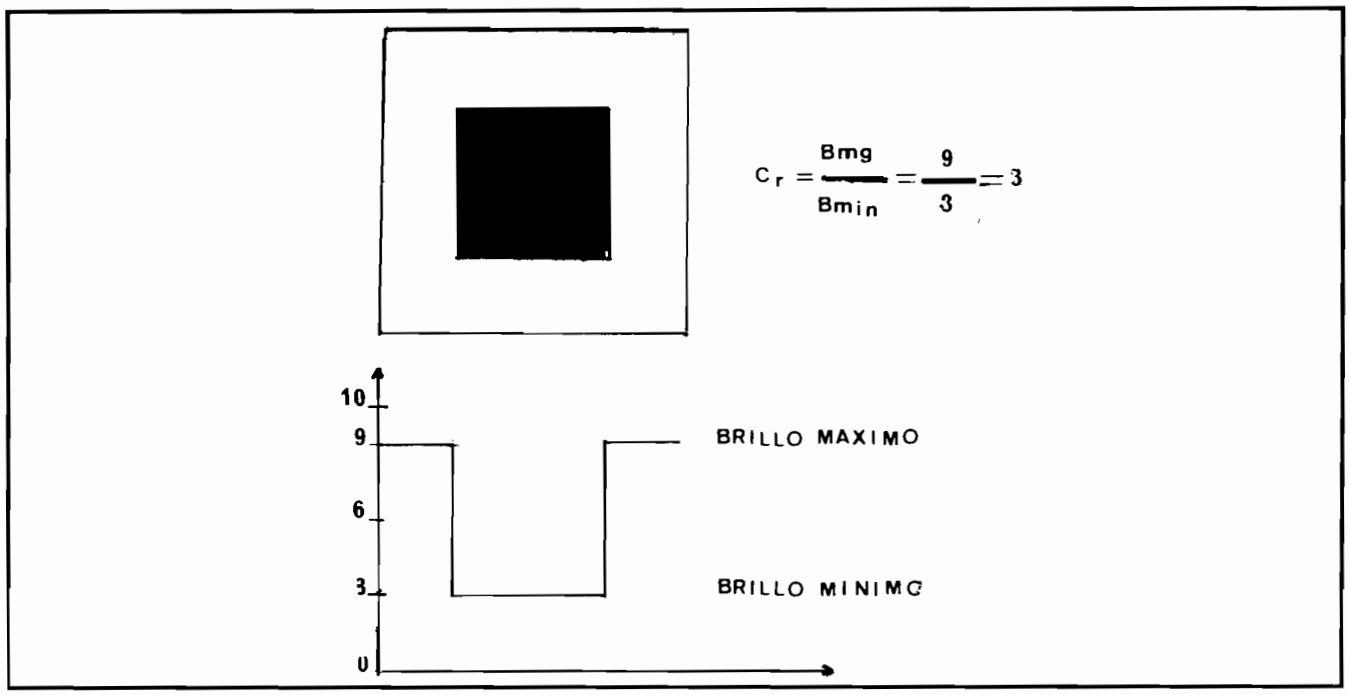


FIGURA 3.23 Representación del contraste de una imagen (Sabbing 1977)

Para sistemas barredores como los del LANDSAT, la calidad de la imagen esta determinada por el campo instantáneo de vista (IFOV), que a su vez depende del sistema óptico, altura y velocidad de vuelo.

Para sistemas áctivos de microondas, como el radar, la resolución esta definida por el ancho del haz de rayos, por el ángulo de observación, longitud de onda y otros factores.

3.5.1 **Medidas de la Resolución** Existen varias formas de expresar la resolución de los sistemas de percepción remota.

En realidad el formato del sistema del sensor determina como debe ser medida su resolución espacial. Las medidas de resolución de un sistema, puede que no seán fácilmente convertibles a la obtenida por otros sistemas.

De igual manera; una sola medida de resolución espacial, generalmente no es aplicable en forma satisfactória a todos los sistemas de sensores.

La resolución en términos de las propiedades geométricas del sistema es generalmente descrito como el Campo Instantáneo de Vista (IFOV), que es una función de la altura orbital del satélite, tamaño del detector y la distancia focal del sistema óptico. En el caso del satélite LANDSAT, el IFOV es de de 80 metros. Este valor significa en modo general, que con los sistemas de sensores del LANDSAT, es posible identificar objetos que tengan tamaños mayores a los 80 metros. Sin embargo este valor no es un indicativo definitivo del tamaño, ya que algunos objetos de tamaños menores a los 80 metros, y en especial los alargados y angostos como carreteras, líneas de ferrocarril ríos, etc. son fácilmente identificables en las imagenes LANDSAT debido a la relación del contraste que existe entre esos objetos y sus contornos, conforme a lo explicado líneas arriba.

Las formas más simples y comunes para representar la resolución de la imagen estan dadas por los siguientes valores:

- Líneas pares por milímetro (LPM)
- Resolución del terreno
- Función Modular de transformación (MTF)

Líneas Pares por Milimetro (LPM) La resolución de un determinado sistema o de sus componentes como en el caso del sistema fotográfico, generalmente se hallan expresadas en líneas pares negras y blancas espaciadas en un milímetro, que pueden ser observadas por el ojo humano en una tarjeta standard de resolución, bajo condiciones específicas de iluminación y magnificación.

El modelo general de las tarjetas de resolución está integrado por líneas paralelas negras sobre un fondo blanco de un contraste de 100 a 1 en cantidad de luz reflejada. Para cada modelo se utilizan generalmente tres líneas negras. (Fig. 3.24)

El ancho del espaciamiento entre las líneas adyacentes es igual al ancho de las líneas en el modelo y la longitud de las líneas es cinco veces el ancho. Modelos sucesivos sobre la tarjeta se hallan compuestos de líneas negras con espaciamientos de líneas cuyos anchos progresivamente se vuelven más angostos. Conforme el espaciamiento entre las líneas paralelas y el fondo blanco disminuye, el contraste entre ellas parecerá ser más bajo hasta que alcanza un punto en el que el contraste es tan pequeño que las líneas paralelas no pueden ser individualizadas.(Fig.3.24).

Los valores de resolución derivados en esta forma son expresados en líneas pares/milímetro que en forma abreviada se la representa por líneas/mm. A mayor número de líneas por milímetro que tenga un componente del sistema, ya sea lente o película, más alto el poder de resolución. (Una película de 115 líneas/mm será de resolución más alta que una de 85 líneas/mm.

Resolución del terreno o Distancia resuelta del terreno La resolución del terreno, permite calcular la mínima separación que en el terreno deben tener dos objetos, para que ellos puedan ser identificados en forma separada en la fotografía o imagen.

En la fotografía aérea esta medida de resolución puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\mathbf{RT = H / f \times R \times 1000}$$

RT = Resolución del terreno
H = Altura de vuelo sobre el terreno
f = Distancia focal
R = Resolución del sistema en Líneas por milímetro

Los valores así obtenidos son muy utilizados como un parámetro para realizar medidas comparativas que permitan determinar la capacidad que tienen los diferentes sistemas cuando operan bajo las mismas condiciones o el de un solo sistema que opera en diferentes condiciones.

Función Modular de Transformación (MTF) Es otra manera de medir la calidad de la resolución de un sistema óptico. El uso de métodos sinusoidales para analizar sistemas fotográficos, mediante medidas o el análisis de funciones modulares de transformación, tiene ciertas ventajas sobre las pruebas que involucran observaciones visuales que utilizan tarjetas standards de resolución.

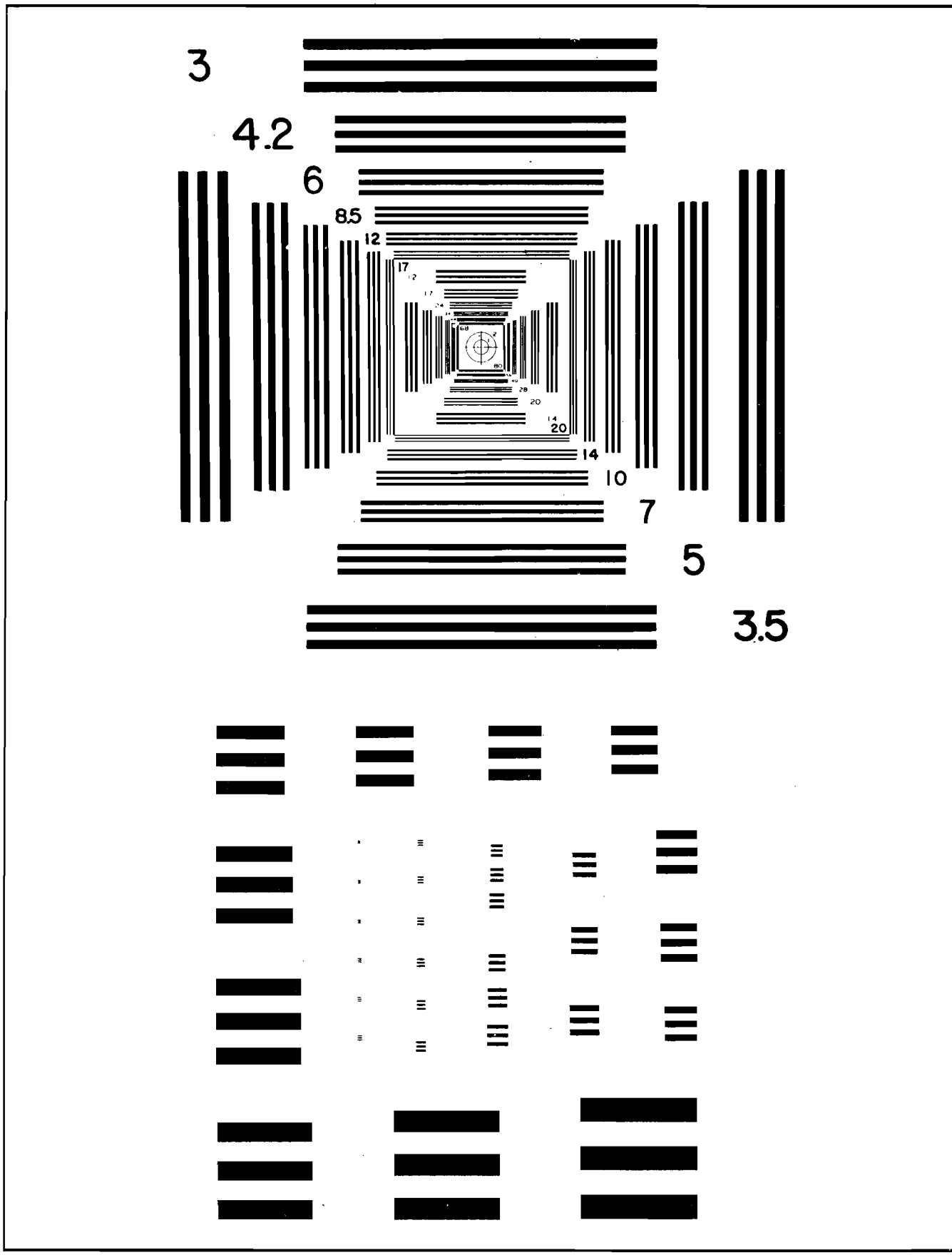


FIGURA 3.24 Modelo de tarjetas de resolución (líneas/mm)

Aunque el MTF es probablemente el mejor método para medir la habilidad que tiene un sistema o sus componentes individuales para el registro del detalle espacial; la complejidad del método impide que su aplicación pueda ser realizada en forma rutinaria, ya que la resolución en este método se halla expresada en función de frecuencias, que utiliza tarjetas más complejas, y cuyos resultados son representados mediante curvas, que indican el grado en el cual una imagen registra frecuencias específicas. (Fig. 3.25). Por tratarse de una curva, su aplicación no es tan sencilla como cuando se expresa la resolución en líneas/MM.

La ventaja de esta función comparada a la de los contrastes mínimos (LPM), es que muestra la modulación de todas las frecuencias.

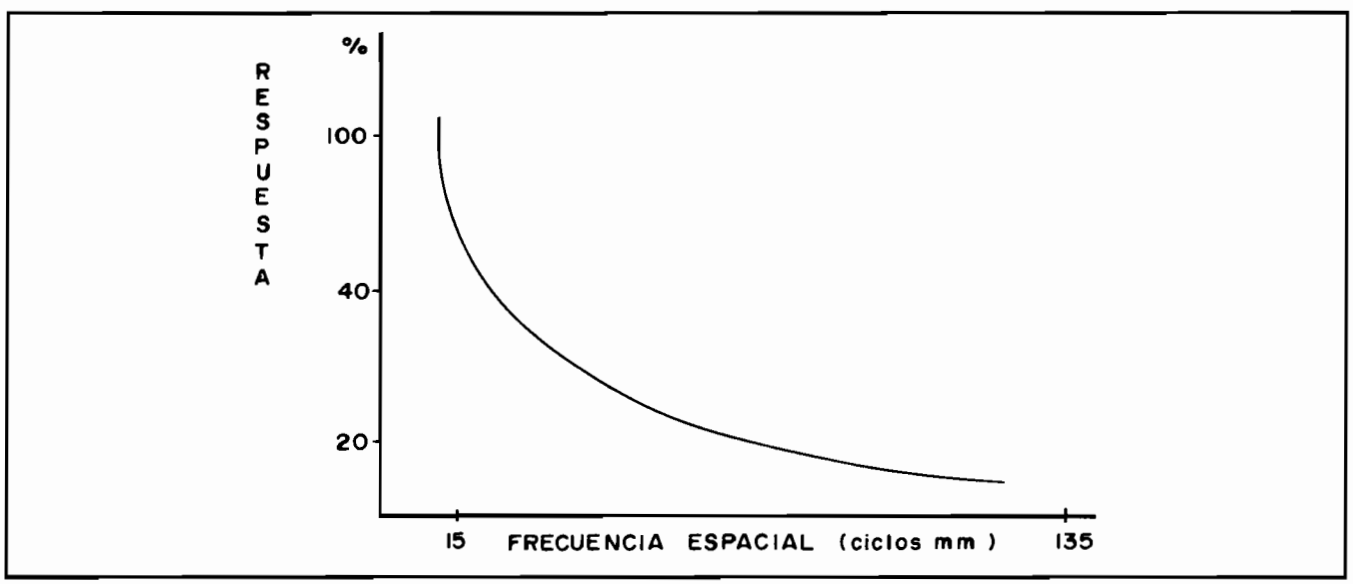


FIGURA 3.25 Curva de función modular de transformación

3.6 ESCALA

La escala es un factor que afecta la resolución de la imagen. Es expresada como una fracción o proporción, donde el numerador representa el tamaño de la imagen fotográfica y el denominador representa el tamaño del objeto en el terreno, en las mismas unidades (metros, pies, millas, etc.). Una escala 1:40000 significa que 40000 metros del terreno equivalen a 1 metro en el registro gráfico.

Las escalas más comunes utilizadas en las fotografías aéreas e imagenes de satélite para fines de interpretación son las siguientes:

	PARA FOTOGRAFIAS AEREAS			PARA SATELITE
Escalas Pequeñas	1:60000	a	1:100000	> 1:1000000
Escalas medias	1:50000	a	1:30000	> 1:250000
Escalas grandes	1:20000	a	1:5000	> 1:50000

CUADRO 3.1

PRINCIPALES CARACTERISTICAS CORRESPONDIENTES A LOS SENSORES REMOTOS FORMADORES DE IMAGEN

	SISTEMA FOTOGRAFICO		SISTEMAS DE BARREDORES LINEALES				SISTEMAS DE RADAR	
	C A M A R A S		BARREDORES MULTIESPECTRALES				Radar Aereo de Vista Lateral S L A R	SAR
SENSORES REMOTOS	Cámara Fotográfica Aerea métrica	Cámara fotográfica Multiespectral aérea	Sistema MSS (LANDSAT 1-3 - 4 y 5)	Sistema TM Thematic Mapper(LANDSA 4 Y 5)	Sistema HVR (Modos-Pancromático y MSS - XS) - (SPOT)	Barredor Aéreo Termal (1) (HCMM) (2)		
METODO REGISTRO	Optico	Optico	Barrido óptico mecánico	Barrido óptico mecánico	Barrido óptico mecánico	Barrido óptico mecánico	Antenas Apertura Sintética	Antenas Apertura Sintética
PRODUCTO DIGITAL Y FLOPPY DISKS			Densidad Cinta 6250-1600 BPI (Solo 4 y 5)	Densidad Cinta 6250 PC/MC DOS Format	Densidad Cintas 1600 y 6250 BPI			
PRODUCTO FOTOGRAFICO	Negativo Transparencias Papel B y N Color	Negativo Transparenc. Papel B y N Color	Negativo Transparenc. Papel B y N Color	Negativo Transparencias y Papel B y N-Color Infrarrojo	Negativo Transparencias y Papel B y N Color IR (4-5-7)	Negativo Transparencias y Papel B y N	Negativo Transparencias y Papel B y N	Negativo Transparencias y Papel B y N
ESCALA EN IMAGEN	1:5000 1:130000	1:5000 1:130000	1:3390000			1:1.000000 a 1:5000	1:1000000 1:250000	
AMPLIACIONES	Variable		1:1000000 1:500000 1:250000	1:1000000 1:500000 1:250000 1:100000 1:50000	1:400000 1:200000 1:100000 1:50000	- - -	1:50000 1:100000	
RANGO ESPECTRAL	0.4 - 0.9 Micrometros	0.4 - 0.9 Micrometros	0.5-1.1 Micrómetros	0.45-1.75 2.08-2.35 10.4-12.5 Micrómetros	0.51 - 0.73 P 0.50 - 0.59 M 0.61 - 0.68 M 0.79 - 0.89 M	3-5 y 8-14 Micrómetros	0.5 a 1.3 Metro	23.5 cm.
BANDAS ESPECTRALES (Número)	Visible IRR cercano		Visible-IRR cercano 4 y 5 (4)	Visible IR. cercano y Medio (7)	Visible- IR. cercano Pancromát. 1 Multiesp. 3	Infrarojo Termal (Emisivo) (3)	Activo Microondas	Banda L (1)
RESOLUCION EN EL TERRENO	0.1 - 3 Metros		80 metros	30 Metros 120 Mt (IRT)	10 (metros) P 20 (metros) M	4m - 60m.(1) 500-600m.(2)	10 - 200 Metros	25 Mts 40 Mts
VENTAJAS	Estereoscopia Resolución alta Buen detalle		Mayor Recubrimiento Multitemporal	Multiespectral Digital	Multitemporal Estereoscopia Mayor recubrimiento	Detección Termal a 5°C	Registro Diurno-Nocturno - Sistema áctivo	Registro Diurno y Nocturno Sistema áctivo

P = Pancromático M = Multiespectral

FOTOGRAFIA AEREA Y PELICULAS FOTOGRAFICAS

CAPITULO IV

4.1 INTRODUCCION

A pesar del gran avance tecnológico en el campo de la Percepción Remota, y el desarrollo de nuevos sistemas de registros de imágenes, como los del sistema radar, barredores termales, barredores multiespectrales; la FOTOGRAFIA AEREA sigue siendo el sensor remoto más importante y más utilizado en todos los estudios relacionados con la exploración, evaluación, conservación y manejo de los recursos naturales; con proyectos de ingeniería civil (diseños de carreteras, ferrocarriles, presas, etc); con la confección de mapas topográficos utilizando métodos fotogramétricos; con reconocimientos militares, etc.

Los valores de resolución que tienen las fotografías aéreas, aún no han sido superados por otros sistemas, por el contrario en varios programas espaciales orbitales siguen mejorando los diferentes componentes del sistema fotográfico (lentes, películas, obturadores) con el objeto de optimizar la alta resolución espacial y los aspectos geométricos de las fotografías aéreas, para ser utilizadas en la confección de mapas topográficos y planimétricos. En el capítulo I, en los cuadros 1.1 y 1.2 figuran las principales cámaras aéreas, utilizadas por algunos satélites de diferentes misiones espaciales puestas en órbita, así como las futuras misiones que emplearán cámaras aéreas.

A las características propias de las fotografías aéreas espaciales, se añade como ventaja sobre los otros sistemas, que ellas no requieren sistemas costosos de transmisión de datos, o de facilidades de computadoras grandes para producir imágenes, ya que estas fotografías pueden ser utilizadas con los instrumentos fotogramétricos y de fotointerpretación que son de fácil disponibilidad en cualquier región del mundo.

4.2 FOTOGRAFIA AEREA

La Sociedad Americana de Fotogrametristas define a la fotografía aérea de la siguiente manera: La fotografía aérea es un registro de detalles del terreno para realizar algún tipo específico de estudio.

Una definición más elaborada sobre el mismo concepto es la siguiente: Una fotografía aérea es una imagen formada por radiación electromagnética, la cual es detectada por compuestos químicos foto sensitivos que se hallan incorporados en una emulsión fotográfica, cuya función es la de reproducir de la manera más fiel los objetos detectados, de manera que ese registro corresponda a la que el ojo humano captaría si observara dichos objetos desde la posición que tuvo la cámara fotogramétrica en el momento de la exposición.

De acuerdo a las definiciones dadas, se puede concluir que la fotografía aérea es un registro fiel de todos los rasgos topográficos, geológicos, geomorfológicos, de vegetación, drenaje, suelos, etc, de una determinada región, por ello constituye una de las herramientas más útiles, en estudios relacionados con el conocimiento de los recursos naturales de una región.

Las fotografías aéreas son obtenidas con una gran diversidad de cámaras fotográficas, películas y filtros en función del tipo de estudio que se desea realizar.

4.3 PELICULAS FOTOGRAFICAS

Uno de los componentes importantes del sistema fotográfico, es la película fotográfica, que de acuerdo a la clasificación de los detectores corresponde a los detectores cuánticos.

El conocimiento de la composición, sensibilidad, clasificación, características, ventajas y desventajas de las diferentes películas, es muy importante para realizar la elección apropiada del tipo de película que se debe utilizar, cuando se realiza algún trabajo específico de Fotointerpretación. Por ello en el presente capítulo se discutirán, los diferentes aspectos relacionados con la película fotográfica.

4.3.1 **Constitución de la película blanco y negro.-** Toda película en blanco y negro, se halla constituída de las siguientes partes esenciales (Fig.4.1):

a) Base o soporte

b) Emulsión fotográfica

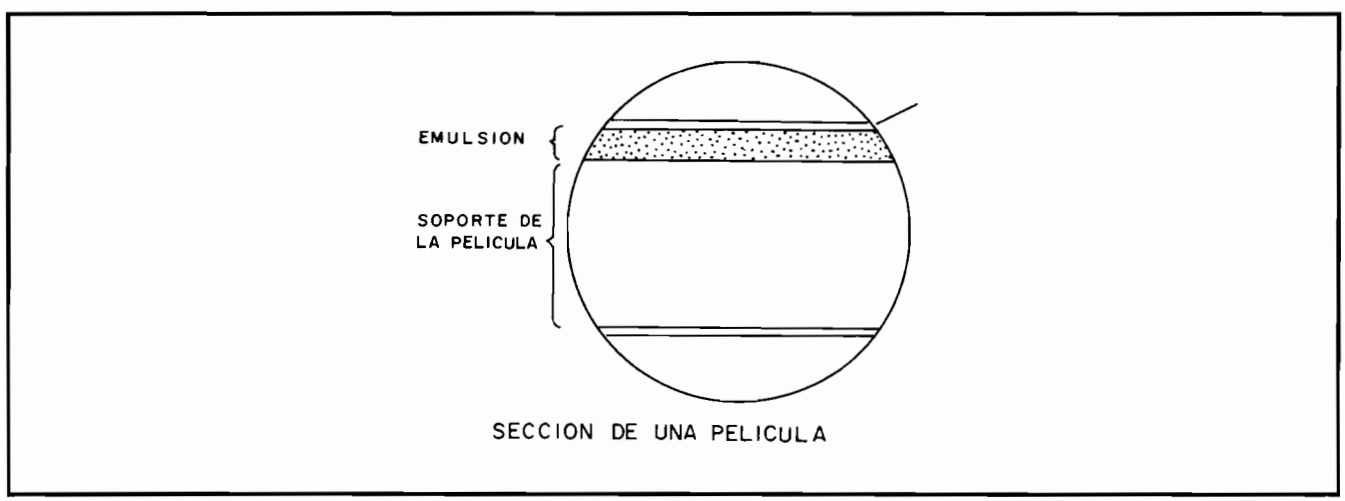


FIGURA 4.1 Partes de la película fotográfica

c) Sobrecubierta

4.3.1.1 **Base o soporte.-** Es la superficie sobre la cual se halla depositada la emulsión fotográfica y se halla constituida por un material transparente, muy delgado con espesores entre 40 y 100 μm, por lo general flexible en su constitución.

Existen diferentes tipos de materiales que se utilizan como base o soporte de la emulsión. Generalmente corresponden a los siguientes tipos:

a) Los primeros materiales utilizados, han sido las placas de vidrio, que hoy solo son empleadas con algunos instrumentos fotogramétricos, debido a que el vidrio es poco sensible a las variaciones de temperatura y humedad, de manera que las mediciones que se realizan sobre ellas introducen un mínimo de error en expansión o contracción en el tamaño de la imagen.

   Una desventaja de las placas de vidrio ha sido el peso, volumen que ocupa y su fragilidad.

b) Desde los años 50, se empezaron a utilizar bases de Triacetato y posteriormente se introdujeron las de Poliester.

   Entre las de triacetato, se hallan las de acetato de celulosa y las de nitrato de celulosa, que se caracterizan por su fácil manejo, debido a su flexibilidad y peso. El soporte de acetato de celulosa tiene un índice más bajo de inflamabilidad que los de nitrato de celulosa.

Las películas modernas utilizan bases de Poliester, que son de mayor costo, por ciertas características físicas que superan a las de acetato de celulosa. Entre ellas se puede citar la estabilidad dimensional que tiene con relación a los cambios de temperatura y humedad, de manera que los efectos de contracción o expansión son mínimos. Otra característica de este material se relaciona con su alta resistencia al deterioro.

4.3.1.2 **Emulsión fotográfica.-** La emulsión fotográfica es una gelatina especialmente preparada que contiene el material fotosensitivo en suspensión, la cual es cuidadosamente dispersada sobre el soporte o base fotográfica en forma líquida, a la cual se adhiere cuando se endurece.

Para fines de mejor descripción se puede decir que la emulsión fotográfica se halla constituida de dos partes:

a) La gelatina

b) El material fotosensitivo

Gelatina La gelatina es el medio en el cual se mantiene el material sensitivo.

Material fotosensitivo se halla constituido de cristales pequeñísimos de haluros de plata, principalmente bromuros de plata en más porcentaje (90%) que los yoduros y cloruros de plata.

Estos cristales son insolubles, extremadamente pequeños e irregulares en forma. La irregularidad en la forma es un factor importante que favorece la intercepción de los fotones que pasan a la emulsión.

La selección del tamaño de los cristales utilizados en la emulsión definen algunas propiedades de la emulsión relacionadas con la velocidad y resolución de la película, que será discutido posteriormente.

Otros componentes químicos pueden añadirse en cantidades muy pequeñas a la emulsión, que le confieren algunas propiedades especiales, tales como la habilidad ampliar la sensibilidad de la emulsión a longitudes de onda más grandes.

Actualmente se ha desarrollado un nuevo tipo de emulsión que se caracteriza por estar constituida de cristales de forma plana diferentes a los anteriores. En este tipo de cristales, el volumen es igual al de los anteriores, pero el área de exposición a la luz es mayor, por ello la velocidad de la película aumenta sin que disminuya la resolución. Este tipo de emulsión aún no ha sido utilizado en películas para fotografías aéreas, solo están siendo empleadas en las películas de color.

La función de la exposición en la cámara, es afectar a los cristales de haluros de plata, convirtiéndolos en plata metálica. Cuando la luz llega a un cristal, ella solo cambia a una porción pequeña del cristal en plata metálica. La cantidad de cristales afectados por la luz, está en función de la intensidad de la luz que llega a la emulsión. Conforme la luz va afectando a los cristales de plata, se realiza el registro de la escena, formando así una imagen invisible llamada **Imagen latente** que solo se vuelve visible cuando la película pasa por el proceso del revelado.

El revelado es el proceso por el cual la película expuesta es sometida a un baño de un compuesto alcalino, que reduce a los cristales de haluros de plata que fueron expuestos a la luz. Los cristales que en la imagen latente solo estaban ligeramente cambiados a plata metálica, con este nuevo proceso son totalmente cambiados a plata metálica negra (Fig. 4.2).

Después de haber pasado por todo el proceso de revelado y fijado, la imagen que resulta es una representación negativa de la escena, porque aquellas áreas de mayor brillo en la escena, se hallan representadas por concentraciones más grandes de plata metálica, las cuales aparecen oscuras sobre la imagen revelada, razón por la cual se la denomina negativo.

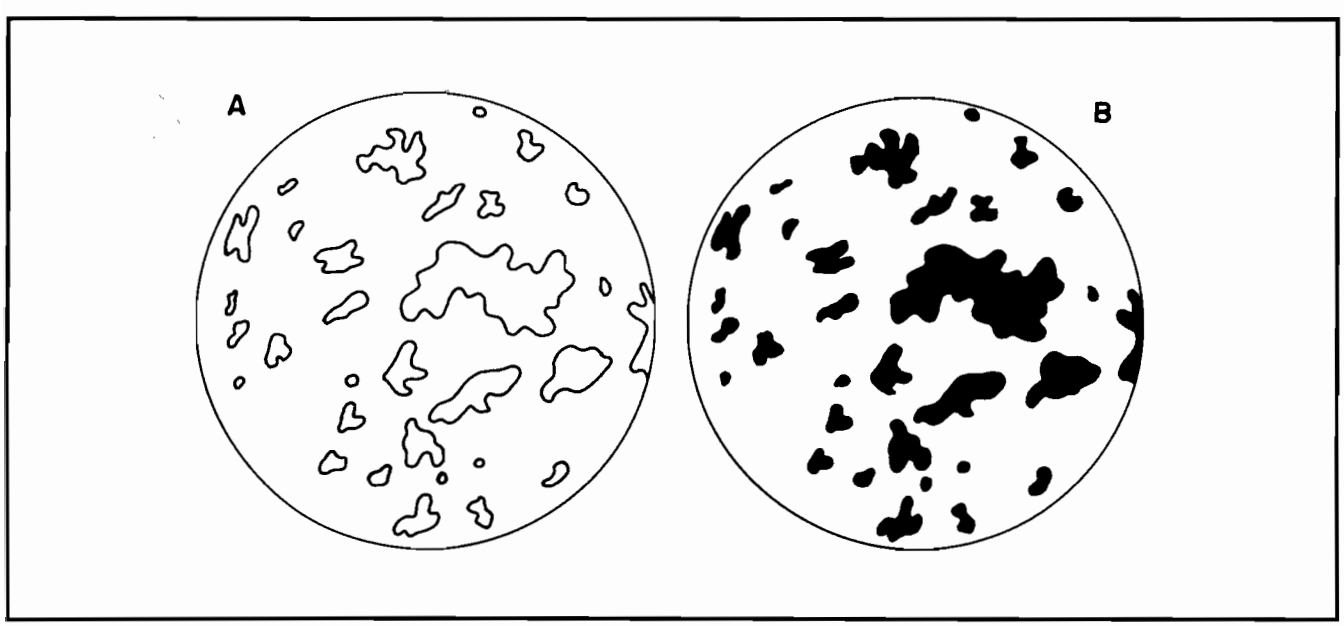


FIGURA 4.2 Cristales de una película fotográfica. A.- Antes de ser revelada. B.- Después de revelada

4.3.1.3 **Sobrecubierta.-** Como protección contra rasguños, raspaduras, durante el manejo de las emulsiones se cubren a menudo con una delgada capa de gelatina, que se la denomina sobrecubierta.

4.3.2 **Tipos de películas fotográficas.-** Es muy común utilizar los términos película y emulsión como sinónimos, sin embargo existe una diferencia, que se puede conceptualizar en las definiciones dadas anteriormente. De acuerdo a ello, el término película incluye a la emulsión, base o soporte y sobrecubierta.

Las películas fotográficas en primer instancia pueden ser divididas en dos grandes grupos:

a: Películas blanco y negro

b: Películas a color.

4.3.2.1 **Películas Blanco y Negro .-** La clasificación de las películas, se las realiza en base al rango de sensibilidad de dichos compuestos.

De acuerdo a ello, se pueden distinguir dos tipos de emulsiones :

a) Emulsiones no cromatizadas o ciegas

b) Emulsiones cromatizadas

4.3.2.1.1 **Emulsiones no cromatizadas o ciegas.-** Esta emulsión se caracteriza por tener la sensibilidad original de los compuestos de plata y cuyo rango corresponde a las longitudes de onda del ultravioleta y el azul. (Fig. 4.3)

4.3.2.1.2 **Emulsiones cromatizadas.-** Por la adición de compuestos químicos a las emulsiones no cromatizadas, se amplía la sensibilidad de ella, transformándolas en emulsiones cromatizadas.

De acuerdo al rango de longitudes de ondas al que se hallan sensibilizadas estas emulsiones, ellas pertenecen a tres grupos: (Fig. 4.3)

a) Emulsiones Ortocromáticas

b) Emulsiones Pancromáticas

c) Emulsiones Infrarrojo y blanco

Emulsiones Ortocromáticas Se hallan sensibilizadas a las longitudes de onda que se extienden entre 0.38 a 0.60 μm, con una mayor sensibilidad al verde. (Fig 4.3).

El registro de tonos de esta emulsión no es completo para los colores de una escena, ya que no se halla sensibilizado al color rojo. Por esta razón es que los contrastes no son los mismos que en

la imagen real. Por esta limitación, no es muy utilizada en la toma de fotografías aéreas, para ser aplicadas en Fotointerpretación.

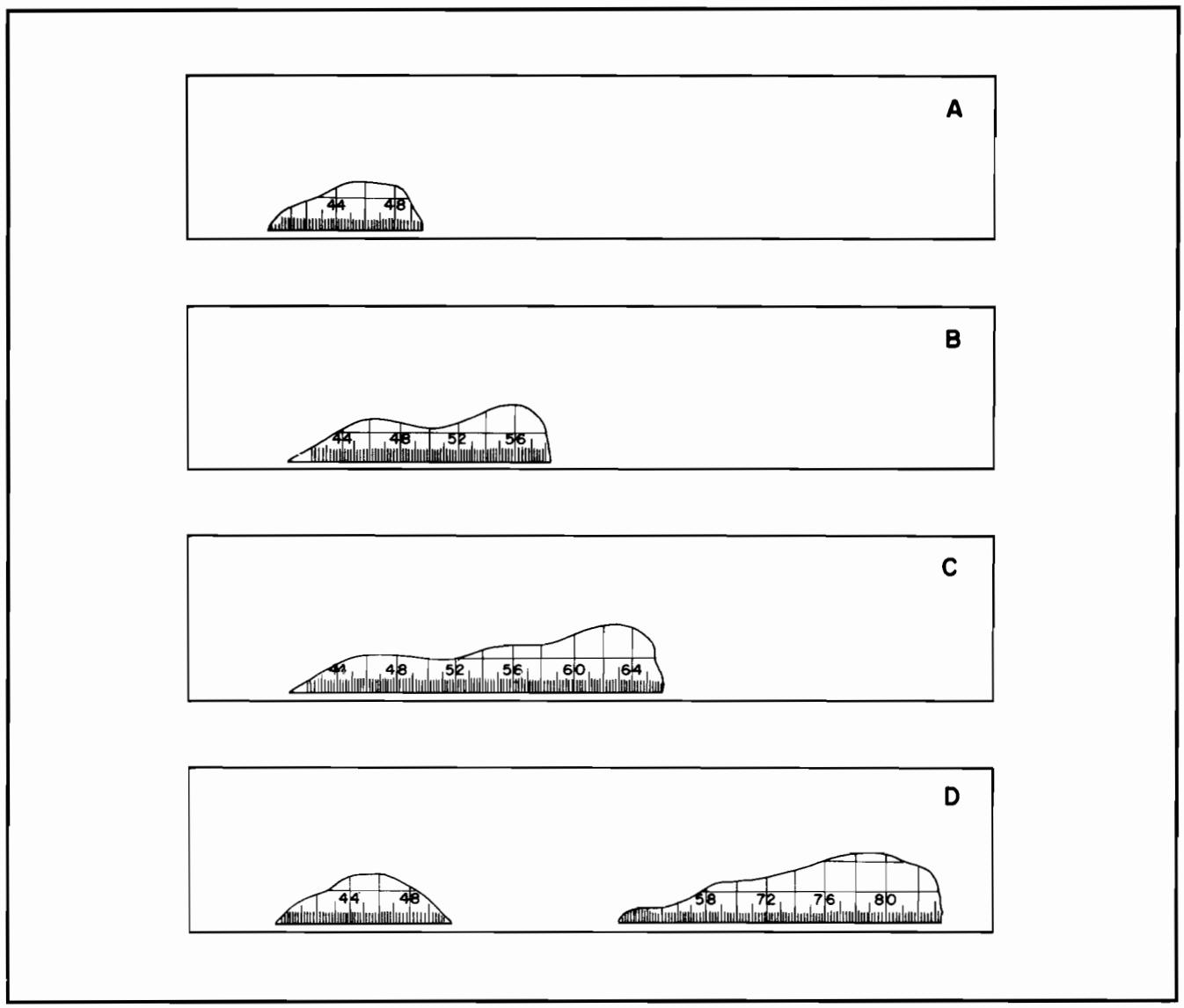


FIGURA 4.3 Clasificación de películas .- Rango de sensibilidad para los 4 tipos de emulsiones. A.- No cromatizada. B.- Ortocromática. C.- Pancromática. D.- Infrarrojo.

Emulsiones Pancromáticas Como su nombre indica, se trata de una emulsión que se halla sensibilizada a todos los colores del espectro visible. Generalmente sus rangos de sensibilidad varían entre 0.38 y 0.72 μm. Estos valores pueden diferir muy poco de acuerdo a la compañía que las fabrica.

Esta película al estar sensibilizada a todas las longitudes de onda, permite el registro de una mayor gama de tonos fotográficos, proporcionando imágenes con contrastes muy similares a los de la escena fotografiada, con una alta resolución y buena definición de la imagen.

Una fotografía aérea obtenida con una emulsión pancromática, tiene registros muy parecidos a los que el ojo humano percibe, por ello es la más empleada en todos los trabajos Fotogramétricos y de Fotointerpretación.

Esta emulsión es muy sensible al azul, por ello se utiliza un filtro amarillo llamado "menos azul", para atenuar a esta longitud de onda.

Emulsiones Infrarrojo Blanco y Negro Una película pancromática mediante aditivos puede ampliar su sensibilidad a longitudes de onda que pertenecen al infrarrojo cercano, llamado también reflectivo. (Fig. 4.3)

La sensibilidad espectral común de las películas infrarrojo varía entre 0.36 a 0.90 μm. Es menos sensible a la parte verde del espectro que la pancromática, pero su sensibilidad es mayor en el rojo y el infrarrojo reflectivo.

Como la película es también sensible a la longitud de onda del azul, estas radiaciones pueden interferir a las del infrarrojo, por lo que es necesario evitar que las radiaciones del azul lleguen a la película infrarroja. Para ello, es necesario eliminar estas radiaciones, mediante un filtro en la cámara fotográfica que absorba y permita solo el paso de las otras radiaciones. Los filtros de mayor uso son los filtros de color rojo oscuro, rojo, naranjas, que corresponden a los filtros Wratten N^{o} 15, 25, 29 y 70 fabricados por la División Eastman Kodak.

Una de las ventajas de esta emulsión sobre la pancromática es que debido a la mayor longitud de onda y menor ángulo de refracción del infrarrojo, tiene mayor penetración a través de las partículas de polvo y agua que se hallan en suspensión en la atmósfera más baja, por esta razón en zonas donde la neblina no es muy densa, la fotografía infrarrojo puede registrar aquellos rasgos que la neblina impiden se registren en las fotografías pancromáticas.

Otra característica importante de esta emulsión es la relacionada con el comportamiento que tiene la vegetación y el agua con el infrarrojo cercano, ya discutido en el capítulo II, (subtítulo 2.8.2.2 - Absorción). Esta característica ofrece una gran ayuda al fotointérprete en la identificación de los tipos de vegetación, como en la delineación precisa de cuerpos de agua.

Generalmente cuando se utilizan los filtros Wratten 25A (rojo) y Wratten 89B (rojo oscuro), la vegetación de hojas anchas se registra en tonos claros, mientras que los cuerpos de agua se registran en tonos oscuros a negros, que facilitan su aplicación en diferentes tipos de estudio, como en Geomorfología cuando se realiza la identificación de los diferentes tipos de diseños de drenaje. Igualmente la diferenciación entre áreas húmedas y secas, basadas en la diferente capacidad de reflexión y absorción del agua y vegetación del infrarrojo, constituyen una excelente ayuda al fotointérprete en su identificación.

4.3.2.2 **Películas a Color.-** La película a color a diferencia de la película en blanco y negro, se halla constituída por tres emulsiones, aunque el principio en que se basa es el mismo.

Para tener una mejor comprensión sobre la formación de la imagen a colores, se presentan algunas consideraciones sobre los aspectos de la teoría del color.

Hay tres características del color:

a) Matíz

b) Saturación

c) Brillo

El matiz es aquella característica por la cual se puede describir al color como rojo, amarillo, verde, azul, etc.

Saturación es aquella propiedad del color, por la cual se describe la pureza o cantidad de blanco contenido en el color. La saturación puede ser calculada mediante la relación entre la cantidad de unidades de un matiz con la cantidad total de energía en un color.

Saturación = 4 unidades de verde/9 unidades en total = 44.4 %

El valor de 44,4 % significa que ese color, que contiene cuatro unidades de luz verde y cinco unidades de luz blanca, corresponde a una combinación de color, que se halla constituido de solo un 44.4% de verde puro.

Brillo Es una medida de la cantidad de negro en un color. Ello permite calificar a los diferentes colores como rojo escarlata, azul marino, etc.

La mayoría de los procesos fotográficos se han diseñado para reproducir en la forma más exacta el matiz, la saturación y el brillo de cualquier color que el ojo humano percibe. La fotografía a color puede conseguir este efecto a través de dos métodos o formas de reproducción del color:

a) Fotografía de color aditivo o Adición de colores

b) Fotografía de color substractivo o Substracción de colores

a) Fotografia por adición de colores Este ha sido el primer método por el cual una escena puede ser reproducida en colores.

C. Maxwell en el año 1861, demostró que todos los colores pueden ser obtenidos aplicando una mezcla correcta de tres fuentes diferentes de luz azul, roja y verde.

Estos tres colores se denominan colores primarios aditivos por que adicionados en proporciones iguales producen **luz blanca**. Además estos no pueden ser formados por otros colores.

La figura 4.4 muestra que al sobreponer parcialmente tres filtros de colores rojo, verde y azul, se obtiene luz blanca. Al mismo tiempo existe una sobreposición de los filtros en pares, dando lugar a la formación de los siguientes colores: (Cuadro 4.1 y Fig. 4.4)

CUADRO 4.1

ROJO + VERDE = AMARILLO
ROJO + AZUL = MAGENTA
AZUL + VERDE = CELESTE

El proceso de formación de colores por adición solo es posible realizarla a través de la proyección individual de cada color primario sobre una pantalla. Este mismo concepto fue aplicado al proceso fotográfico de adición de colores, cuyo procedimiento es el siguiente:

1.- Se toman tres fotografías de la misma escena, utilizando una película en blanco y negro. Para cada una de las tomas fotográficas, se debe utilizar un filtro diferente, de manera que

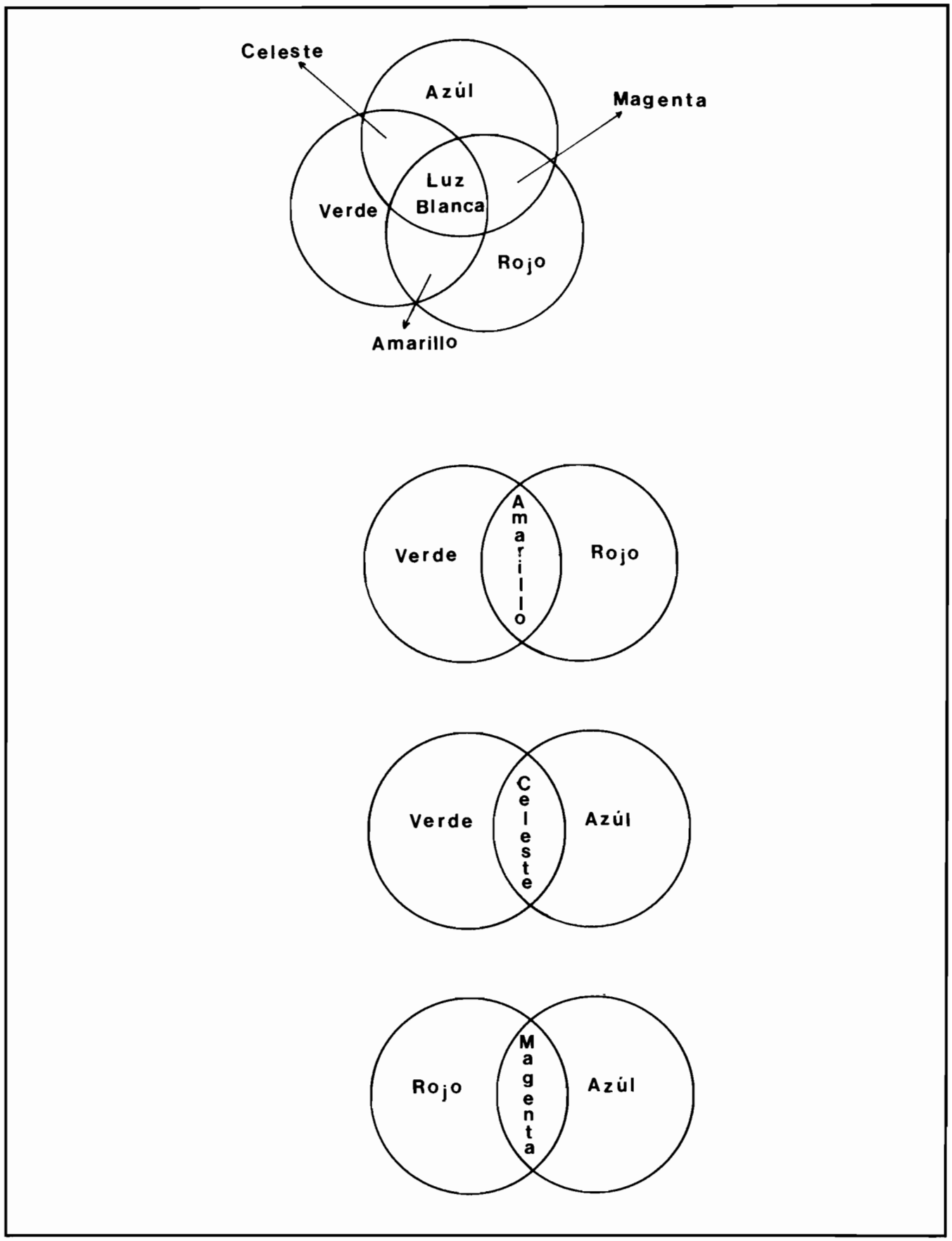
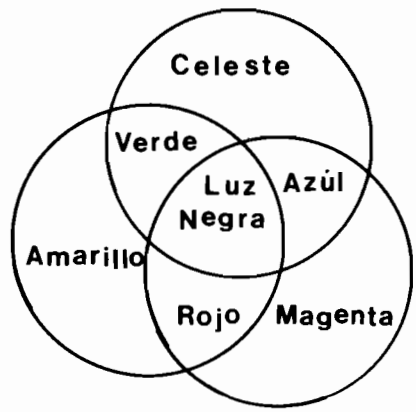
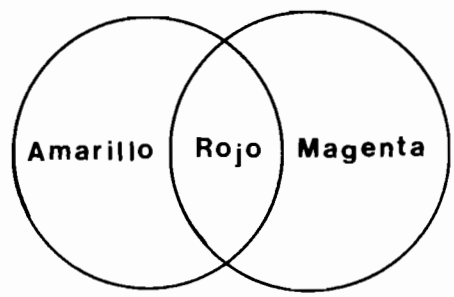
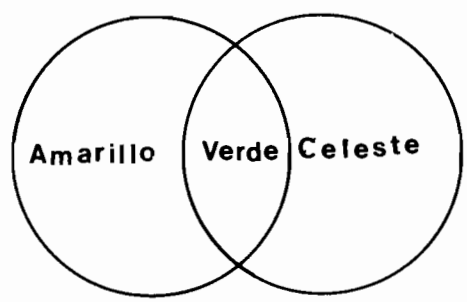


FIGURA 4.4 Colores primarios aditivos







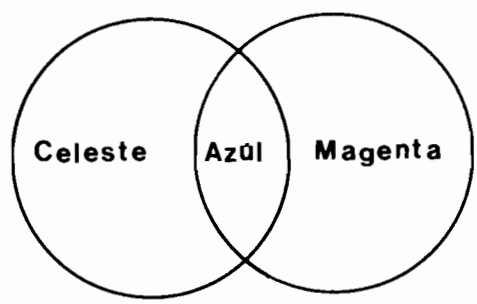


FIGURA 4.5 Colores primarios substractivos

la primera foto sea sacada con un filtro rojo, la segunda con un filtro verde y la última con un filtro azul.

2. Cada una de las fotografías es revelada, y los negativos obtenidos son convertidos en diapositivas

3.- Cada uno de los diapositivas es colocado en una proyectora, teniendo el cuidado de colocar en cada lente de la proyectora, el color del filtro con el que se obtuvo la fotografía de la escena. Así la fotografía tomada con filtro rojo, debe ser proyectada también con filtro rojo y así sucesivamente.

4.- Las proyectoras son enfocadas al mismo punto de la pantalla, de manera que las tres imágenes proyectadas se sobrepongan en una sola imagen. Esta combinación de las tres imágenes reproducirán en colores la escena fotografiada.

Este proceso corresponde a la formación de una imagen a color mediante el método de adición de colores.

b) Fotografia por substracción de colores Un rayo de luz blanca integrado por sus colores primarios componentes rojo, verde y azul, puede producir una imagen a color, substrayendo o extrayendo de ella, luz de diferentes longitudes de onda. (Fig. 4.5)

El proceso substractivo de colores, se basa en la capacidad que tienen los colores amarillo, magenta y celeste para substraer a los colores azul, verde y rojo a través de un medio como los filtros, de acuerdo al detalle del Cuadro 4.2.

CUADRO 4 .2

FILTRO	PRODUCTO DE LA MEZCLA	SUBSTRAE COLOR
1.- Amarillo	Rojo y verde	Azul
2.- Magenta	Rojo y azul	Verde
3.- Celeste	Verde y azul	Rojo

Los colores amarillo, magenta y celeste, se denominan colores primarios substractivos que sobrepuestos dan **luz negra**.

En la Figura 4.6 se muestra la estrella de colores, que permite visualizar con facilidad todo lo descrito, y permite encontrar las relaciones entre los colores primarios aditivos y secundarios.

De acuerdo al Cuadro 4.2, y la figura 4.5 se puede establecer que cuando se sobreponen filtros con los colores substractivos primarios en pares, los colores que se transmiten libremente son los que se presentan en el Cuadro 4.3

De igual manera observando la fig. 4.6 se puede ver que en la teoría del color substractivo, los colores primarios aditivos son opuestos a los colores primarios substractivos.

CUADRO 4.3

Magenta	+	Amarillo	= Transmite luz Roja
Celeste	+	Amarillo	= Transmite luz Verde
Celeste	+	Magenta	= Transmite Luz Azul

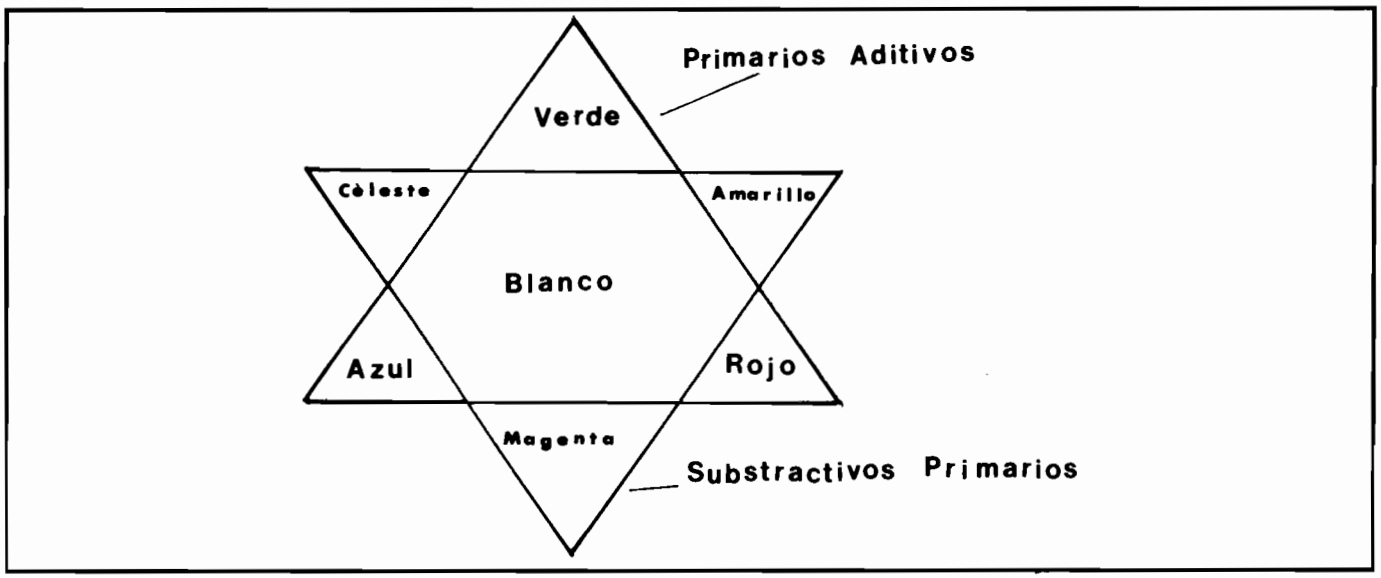


FIGURA 4.6 Estrella de colores

Las películas aéreas a color, utilizan el principio de la teoría substractiva, para la formación de las imágenes a color. Este proceso es llamado Reversible Substractivo, y consiste en la producción de una imagen de tinte o matiz reversible, cuyo principio es similar al de la fotografía blanco y negro.

Después que la película ha sido expuesta, se forma la imagen latente, la cual es reducida a plata metálica.

La diferencia con el sistema a color, radica en que la película blanco y negro durante el revelado es fijada para luego remover los haluros de plata residuales que no han sido utilizados, en la formación de la imagen metálica, para producir el negativo. En el sistema color reversible, los haluros de plata son utilizados para producir las imágenes positivas correspondientes a cada uno de los tintes o matices.

Por tratarse del mismo principio para la producción de imágenes a color tanto en negativo como en positivo, se presenta a continuación las partes en las que se halla constituida una emulsión a color.

4.3.2.2.1 **Constitución de la película a colores .-** De acuerdo a los principios de la teoría del color, tres son los colores primarios aditivos y tres los substractivos, y en base a ellos es posible la formación de todos los colores que se perciben en una escena.Ello significa que una película a color se halla constituida por tres emulsiones sensibilizados a los tres colores primarios aditivos, además contienen un tinte o matiz, que es el complemento del color al cual la emulsión se halla sensibilizada.

Las tres emulsiones, se hallan ubicadas de la siguiente manera:

La capa superior se halla sensibilizada al azul y contiene un tinte amarillo; la segunda capa se halla sensibilizada al color verde y contiene un tinte magenta y por último la capa inferior se halla sensibilizada al rojo y contiene un tinte celeste.

Además de estas capas sensibilizadas a los tres colores, existen dos capas que no son sensitivas a la luz, las dos se hallan ubicadas por debajo de la capa inferior. Una de ellas sirve para asegurar la adhesión de las emulsiones al soporte de la película y la segunda es una capa llamada Antireflejante, que se halla también por debajo de la capa inferior sensibilizada. (Fig. 4.7a). El proceso que ocurre el momento en que esta película es expuesta es el siguiente:

a) La luz incidente que llega a la película, al pasar por las emulsiones es separada automáticamente en los tres colores primarios.

b) La luz azul es detenida en la primera capa, con la cual reacciona en el momento de la exposición. Esta luz no pasa hacia las otras capas, porque por debajo de la capa sensibilizada al azul, se halla un filtro amarillo, (Fig.4.7a) que absorbe el azul, impidiendo que llegue a las otras emulsiones.

c) La luz verde que llega a la película, pasa por la emulsión sensibilizada al azul, sin afectarla debido a su mayor longitud de onda y por la misma razón pasa el filtro amarillo, hasta llegar a la emulsión verde con la cual reacciona.

d) De igual manera, la luz roja que llega a la película, pasará por las emulsiones azul y verde, sin afectarlas hasta llegar a la última emulsión que se halla sensibilizada al rojo, para reaccionar con ella.

e) La función que cumple la capa antireflejante, es la de absorber todas las radiaciones que llegan hasta la base de la película, de manera que evita que ellas nuevamente retornen y disturben a las tres emulsiones.

Todas las películas a color, se hallan constituidas de la manera descrita anteriormente, con diferencias en la formación de la imagen en la etapa del procesamiento del revelado.

De acuerdo a ello existen los siguientes tipos de películas reversibles de color:

a) Películas negativas a color

b) Películas reversibles positivas a color

c) Película infrarrojo color o falso color

En el caso de las películas negativas a color, los tintes o matices para cada emulsión se forman en la etapa del proceso del revelado de la siguiente manera:

Las substancias químicas conocidas como tintes del color son incorporadas en cada emulsión. Estos se combinan con los productos de la oxidación resultantes de la reacción entre el revelador y los haluros de plata expuestos. Después de revelar y lavar las imágenes de plata, las imágenes teñidas sobrantes no solo son negativas a las gradaciones tonales del objeto fotografiado (como las emulsiones blanco y negro) sino que también serán colores complementarios de la escena original. (Fig. 4.7b) El negativo transparente resultante (Fig. 4.7c) es complementario a la escena original en tono y color.

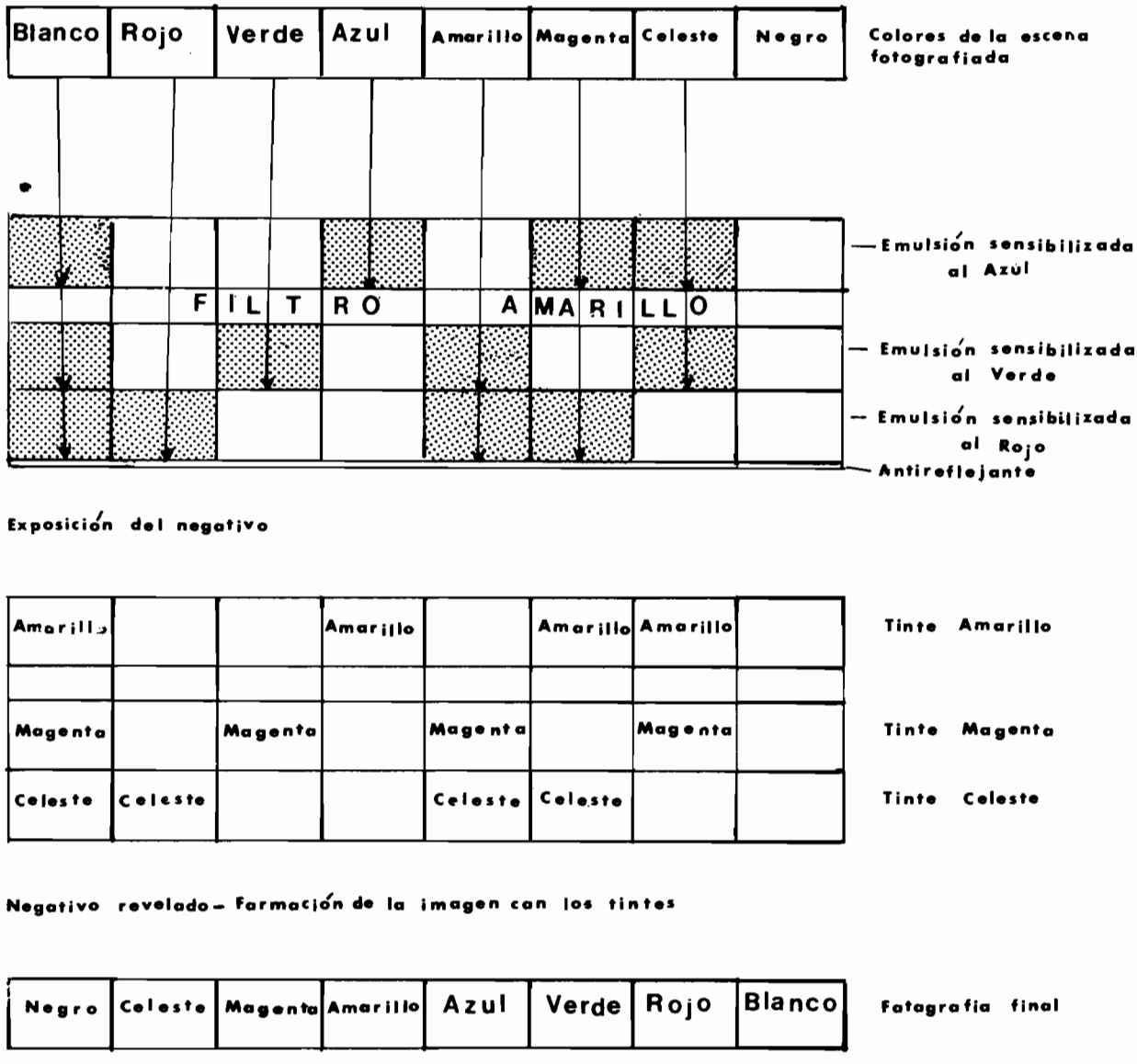


FIGURA 4.7 Constitución de la Película a colores y Proceso de formación de la imagen a colores

En el caso de las emulsiones positivas, básicamente el proceso es similar al de los negativos a color, sin embargo durante el proceso del revelado, la película es sometida a una reversión formando las imágenes positivas.

Película Infrarrojo Color o Falso Color Esta película originalmente fue denominada Película de Detección de Camuflaje, porque ella fue diseñada para fines militares, con el objeto de identificar objetos camuflados. El nombre de falso color, con el que también es denominada, se debe a que ella registra los objetos en colores que no le corresponden.

El principio de esta película es similar al descrito anteriormente, corresponde al tipo reversible, y se halla constituida por tres emulsiones, habiendo reemplazado la emulsión azul que tienen las películas a color por una emulsión sensibilizada al infrarrojo cercano (0.70 a 0.90 μm). (Fig. 4.8)

Unas de las disposiciones de las emulsiones es la siguiente:

a) La capa superior se halla sensibilizada al infrarrojo

b) La capa del medio es sensible al color rojo

c) La capa inferior es sensibilizada al color verde.

Para evitar que las radiaciones del azul lleguen a la película, se utiliza en la cámara un filtro amarillo, que absorbe al azul de manera que solo las radiaciones que corresponden al infrarrojo, rojo y verde lleguen a la película.

Después del proceso de revelado, las áreas que no son expuestas a la luz verde son registradas con tinte amarillo. Las áreas que no son expuestas a luz roja se registran en tinte magenta y las áreas que no son expuestas a la radiación infrarroja se registran en el tinte celeste.

En el revelado final, las áreas verdes fotografiadas se registran en colores azules de diferentes brillos, debido a la combinación de los tintes celeste y magenta del revelado.

Los objetos de colores rojos se registran en colores verdes por combinación de los tintes celeste y amarillo del revelado. Las áreas de alta reflectancia al infrarrojo, como los diferentes tipos de vegetación se registran en colores rojos de diversas intensidades de brillo, por combinación de los tintes amarillo y magenta del revelado. (Foto 4.1)

Esta película, luego del revelado produce un desplazamiento en una posición de los colores del espectro que corresponden a una determinada escena, razón por la cual los colores reales del objeto fotografiado no corresponden a los de la imagen resultante. (Cuadro 4.4)

CUADRO 4.4

Objetos fotografiados	Infrarrojo	Rojo	Verde	Azul
Película color Reversible	--	Rojo	Verde	Azul
Películas Infrarrojo	Rojo	Verde	Azul	--

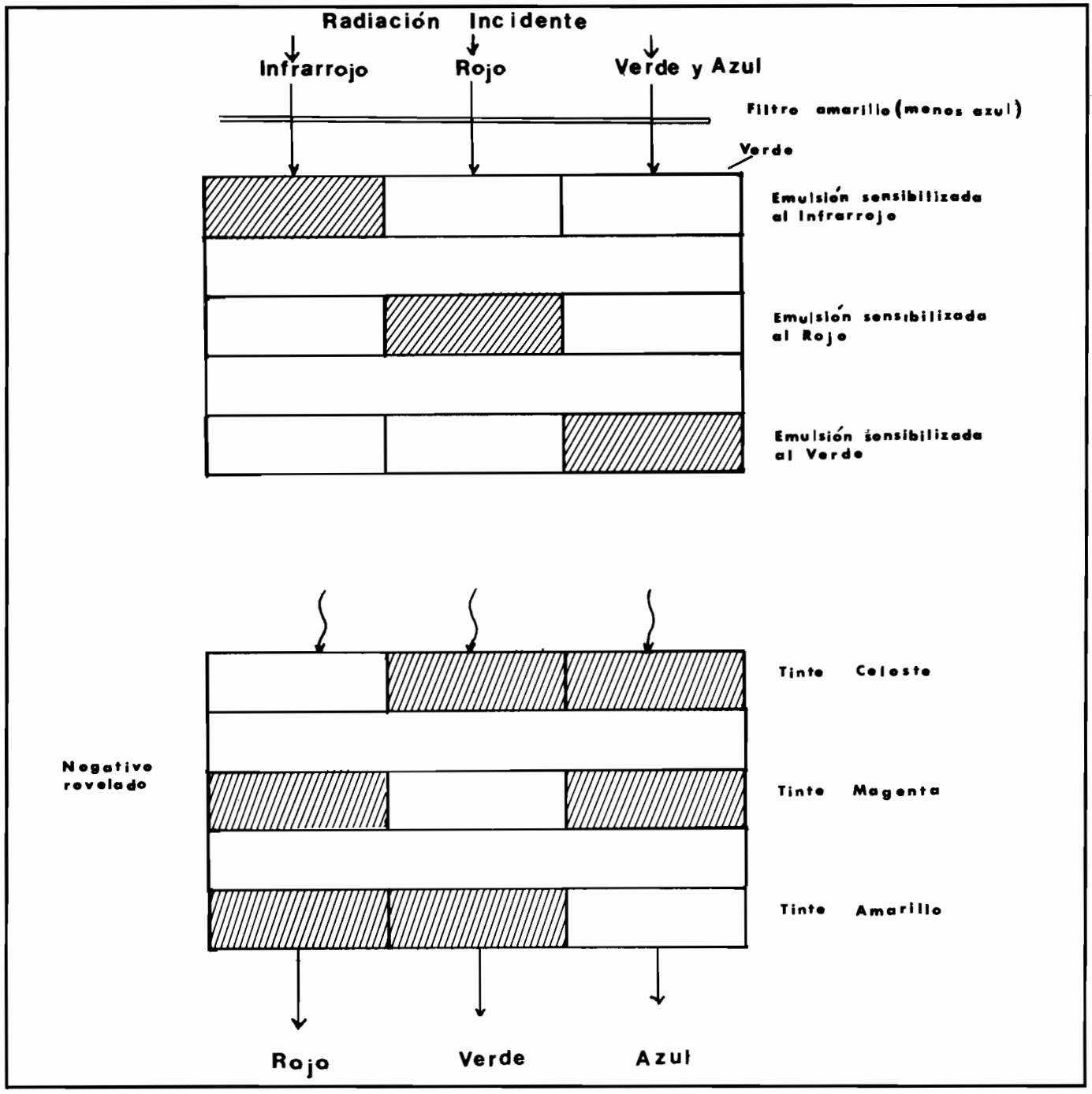


FIGURA 4.8 Constitución de la Película Infrarrojo color

Al igual que la película infrarrojo blanco y negro, tiene mayor penetración que la película a color, razón por la cual es posible el registro de objetos que se hallan cubiertos por neblina no muy densa.

Una de las principales aplicaciones de las fotografías infrarrojo color se halla relacionada con la Forestación y la Agricultura, ya que ella puede aprovechar de las propiedades que tiene esta película, para identificar diferentes tipos de vegetación o discriminar vegetación sana de aquella atacada por algún virus o enfermedad, basada principalmente en la reflectividad y absorción del infrarrojo.



FOTO 4.1 Fotografía infrarrojo color o falso color Ciudad de La Paz. Avenida del Ejército. Observe los diferentes matices de rojo, en el que la vegetación se registra.

Una desventaja comparada con la película de color, es que los objetos fotografiados en la sombra, no pueden ser identificados.

Película Espectrozonal Es una película infrarrojo color diseñada en Rusia, pero a diferencia de la descrita anteriormente, la película Espectrozonal solamente se halla constituída por dos emulsiones.

La emulsión del tope se halla sensibilizada a longitudes de onda entre 0.65 a 0.90 μm, que corresponde al rojo e infrarrojo, mientras que la emulsión de la base se halla sensibilizada a longitudes de onda que varían entre 0.55 a 0.65 μm, que corresponde al verde, amarillo y rojo. (Fig.4.9)

El registro de los colores, está en función de su reflectividad, así los objetos de alta reflexión

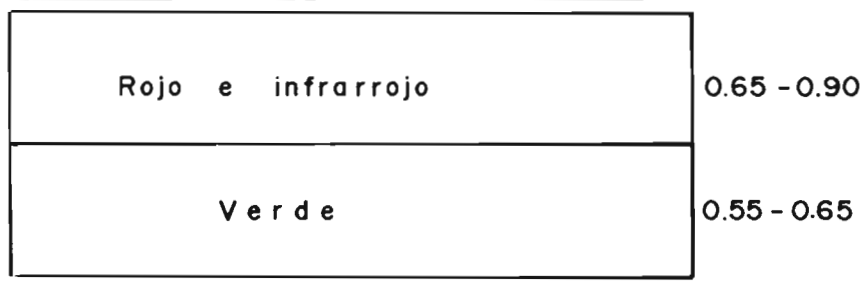


FIGURA 4.9 Película espectrozonal

del Infrarrojo se registran en colores rojos, mientras que los de baja reflexión tienen un registro verde. Para evitar interferencias con radiaciones de menor longitud de onda, especialmente del azul se emplean filtros.

Películas Multiespectrales Estas películas se han diseñado por el interés que existía en tratar de obtener mayor cantidad de información en relación a la que pueden ofrecer las películas corrientes.

Especialmente se basan en el hecho de que muchos materiales de la superficie terrestre, reflejan la energía incidente en modo y cantidad diferentes. Por ello es posible seleccionar bandas con rangos

de sensibilidad más pequeños que las de una película corriente, de manera que sean más fáciles para su detección. Para esto se han diseñado algunas cámaras multiespectrales descritas en el capítulo III, entre las que se citan a la cámara multiespectral Mark I- I^2S y la ITEK 9L y 6L.

Una de las películas multiespectrales que registra la escena fotografiada con valores de contraste muy próximos a los reales en cada banda espectral, corresponde a la película multiespectral infrarrojo blanco y negro, marca Kodak, tipo 2424, que tiene cuatro registros espectrales sobre el mismo rollo, de manera que las cuatro exposiciones son simultáneas, a través de una cámara que cuenta con cuatro objetivos. (Mark I -I^2S).

Estos cuatro registros individuales que corresponden a cuatro imágenes, pueden ser observadas utilizando un proyector para reconstituir a través del método aditivo de colores, las imágenes a color o infrarrojo color y/o simplemente en blanco y negro en las bandas del rojo, verde o azul, utilizando para ellos una combinación de filtros, (rojo, verde, azul e infrarrojo). Uno de los proyectores que cumple con esta función es el I^2 Mini Addcol. (Foto 3.8)

Filtros La mayoría de las fotografías aéreas requieren de algún tipo de filtros, que en general cumplen las siguientes funciones :

a) Disminuir la influencia de la niebla atmosférica, que causa un tono azulado a las fotografías aéreas y bajar los contrastes en los negativos en blanco y negro. Los filtros utilizados para compensar los efectos anteriormente mencionados como para obtener un balance de color más satisfactorio, son los diseñados por la casa Kodak y pertenecen al grupo de los "Wratten" que tienen los siguientes códigos: HF4, HF5 y el HF3, que principalmente absorben el ultravioleta. Este filtro no es recomendable utilizarlo en vuelos de alturas muy bajas o en días muy claros.

b) Absorber ciertas radiaciones y transmitir otras radiaciones como el caso de los filtros llamados "menos azul", que son filtros de color amarillo, que absorben la luz azul y evitan que llegue a la película, mientras que transmite el verde y el rojo. Entre ellos se hallan los Wratten 25.

Un filtro muy empleado con películas infrarrojo blanco y negro es el infrarrojo Wratten 89B, que transmite radiaciones del rojo e infrarrojo cercano. Otros filtros utilizados con esta película son los Wratten 12 y 25, diseñados para aumentar el contraste y absorber el exceso de la reflexión del azul causada por la bruma atmosférica.

4.3.3 **Propiedades de las películas fotográficas.-** Las propiedades de las películas, se hallan relacionadas con la habilidad que ellas tienen para producir un registro satisfactorio a través de los procesos de la exposición a la luz. Muchas de las propiedades físicas y químicas, determinan las características de la emulsión, como el espesor de la emulsión, la cantidad de haluros de plata presentes por unidad de área, tamaño del grano de los cristales, etc. los cuales pueden variar de una emulsión a otra, pero que determinan la calidad de la imagen fotográfica.

Estas propiedades pueden ser agrupadas en aquellas relacionadas con el comportamiento de las emulsiones a la radiación, que pertenecen a propiedades sensitométricas y las segundas que están relacionadas con la habilidad de estos materiales para reproducir en forma exacta los detalles geométricos de una imagen óptica, llamada propiedades de la estructura de la imagen.

Las principales propiedades que corresponden a los dos grupos son las siguientes:

Propiedades sensitométricas

a) Exposición

b) Densidad

c) Curva Característica

d) Velocidad

e) Sensibilidad espectral

f) Gamma

g) Contraste

h) Densidad mínima (Fog)

Propiedades de la estructura de la imagen

i) Granulosidad

j) Poder de resolución

k) Acutancia

4.3.3.1 **Propiedades sensitométricas.-** Antes de entrar en la definición de las propiedades sensitométricas se considera necesario empezar por definir lo que significa Sensitometría .

Sensitometría Estudia el comportamiento de los materiales fotográficos con relación a la luz, que incluye los efectos de la iluminación, revelado de las emulsiones fotográficas y los procesos de formación de la imagen, desde la exposición, intensidad y distribución espectral de la fuente luminosa hasta el revelado y análisis de los resultados obtenidos.

Exposición La exposición es una cantidad de energía luminosa. Se define como el producto de la iluminación por el tiempo.

Densidad El grado de oscurecimiento de la película sobre el revelado es expresado por un número llamado Densidad. La densidad se puede evaluar tomando como base la porción de luz, que el negativo transmite. Está definida por el logaritmo común de la recíproca de la transmitancia u opacidad.

Transmitancia También llamada transparencia, es la relación entre la intensidad de luz transmitida y la intensidad de luz incidente y es expresada en porcentajes.

Opacidad Es la inversa de la transmitancia. El cuadro 4.5 muestra algunos valores de densidad y opacidad.

Curva característica Esta curva, muestra la relación entre el brillo en la escena y la densidad de la película. Es un gráfico en el que se dibujan en ordenadas los valores de densidad del negativo y en abcisas los logaritmos de la exposición a la que ellos correspondan. La figura 4.10, muestra dos ejemplos

CUADRO 4.5

DENSIDAD - OPACIDAD - TRANSMISIBILIDAD

Luz Transmitida (%)	Opacidad			Densidad (*)	Descripción
100.00	100/100	=	1.00	0.00	Claro
80.00	100/80	=	1.25	0.09	
20.00	100/20	=	5.00	0.70	
1.00	100/1	=	100.00	2.00	Lentes sol oscuros
0.01	100/0.01	=	10000.00	4.00	Muy oscuro
0.00	100/0.0	=	-.-	-.-	Opaco

(*) $\log_{10}$ opacidad

de una Curva Característica. Una clase específica de emulsión estará caracterizada por una serie de curvas características que difieren conforme los tiempos de revelado cambian.

La curva característica sirve para poder conocer la velocidad y contraste del material fotográfico. Si se analizan las curvas de la figura 4.10, se observará que tiene la forma de una S suave, alargada e

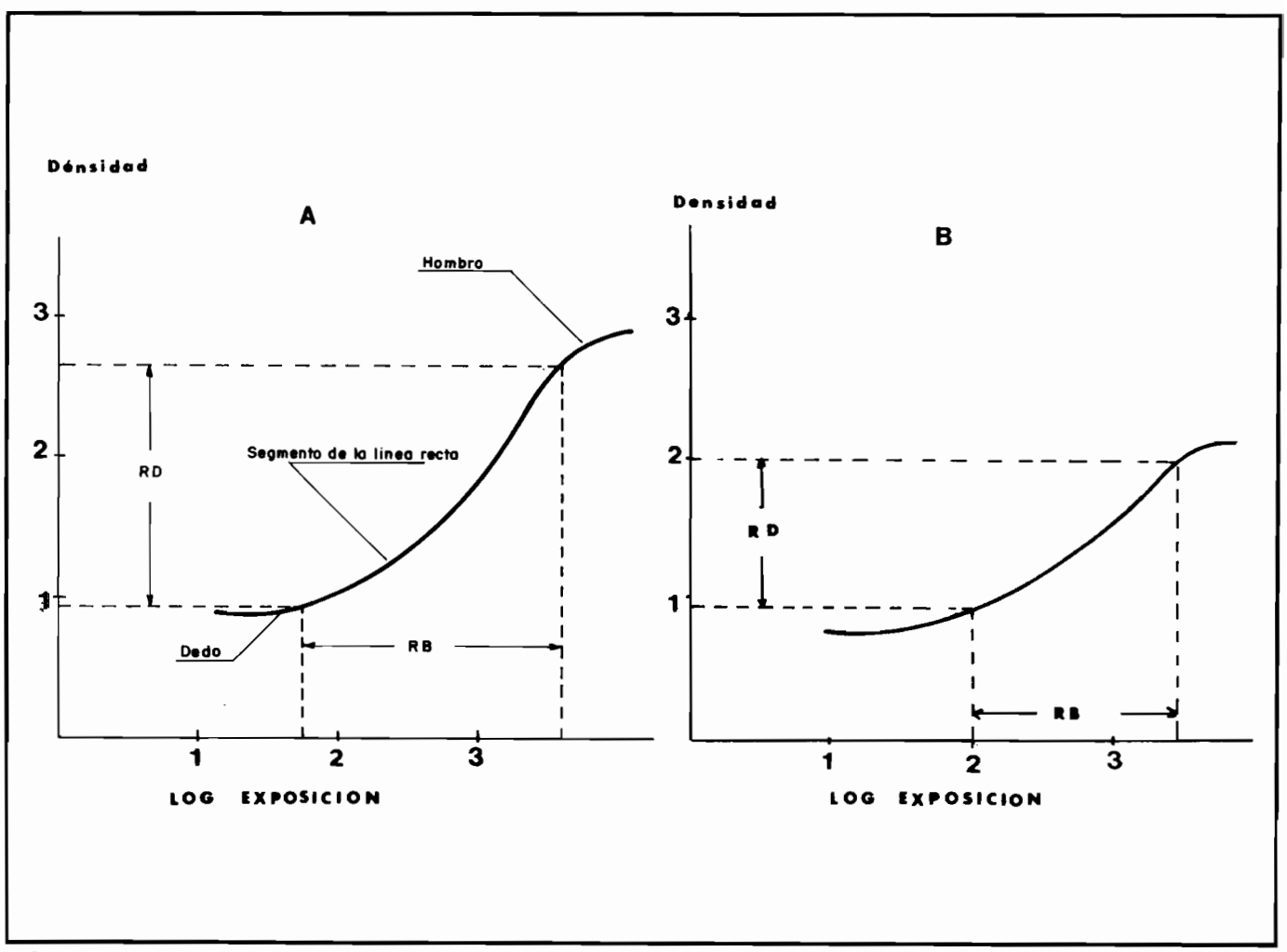


FIGURA 4.10 Curva característica y sus elementos
RB = Rango de brillo RD = Rango de densidad

inclinada, en la que se puede identificar tres sectores, ubicados en la parte inferior, media y superior de la curva, denominadas Dedo, Segmento de línea recta y Hombro respectivamente.

Densidad Mínima (Fog) De acuerdo a las definiciones anteriores se ha establecido que el Dedo, corresponde a la parte más baja de la Curva Característica, que se caracteriza por que ese segmento de curva, es paralelo al eje de abcisas, en la cual el valor es mayor al de cero. El valor de la densidad de esta recta se denomina Densidad Mínima (Fog Level) y es la suma de la densidad de la base o soporte más la producida por el proceso de revelado. Este valor se refiere a la densidad que tiene la base o soporte de la película, sobre la cual se vierte la emulsión, que corresponde a la densidad de la película ya procesada que no ha sido expuesta.

Gamma La gradiente del segmento de la línea recta de la Curva Característica, o la tangente del ángulo que forma la prolongación de este segmento de recta con el eje de abcisas o de exposición, se denomina Gamma. Cuanto más empinada la gradiente de la curva, más alto es el valor de Gamma y mayor el aumento en el registro de densidades en el segmento de la línea recta, correspondientes a la diferencia dada entre las iluminaciones de la escena original.

Contraste Si se examina la figura 4.10, las dos curvas muestran como las diferencias en la gradiente del segmento de la línea recta convierten un rango dado de brillos (RB) en un rango de diferentes densidades (RD) en la imagen final procesada. Si la gradiente de este sector es empinada (Fig. 4.10a), un rango pequeño de exposición equivale a un rango grande en densidad. En este caso se dice que la imagen tiene un **Alto Contraste**, que significa que la imagen muestra un rango amplio en brillo.

Si la gradiente es suave (Fig. 4.10b) un rango de brillos de la escena es equivalente a un rango pequeño en brillos de la imagen, y la imagen será de **Bajo Contraste.**

El término contraste en este sentido es utilizado para definir la manera por la cual una emulsión puede registrar correctamente las diferencias de brillo y color de los objetos de una escena, en diferentes tonos de gris. Si estas diferencias de contraste registradas en la foto son las mismas que las de la escena, la emulsión tiene un **Contraste Normal**. Si las diferencias de contraste son reducidas, la emulsión tendrá un bajo contraste, por el contrario si las diferencias de contraste son grandes, la película tendrá un alto contraste. Las películas de contraste normal son las que se utilizan normalmente para fines de Fotointerpretación.

Velocidad La velocidad de una emulsión es una indicación de la cantidad de la luz requerida para producir un negativo satisfactorio con esa emulsión. Por lo tanto la velocidad es una manera de expresar la sensibilidad de las emulsiones a la luz, que puede ser considerado como sinónimo del Indice de Exposición.

Existen emulsiones rápidas y emulsiones lentas. Una emulsión rápida requiere una intensidad relativamente baja de luz. Una emulsión lenta requiere mucha luz, para ello debe usar una abertura del lente más grande, o tener un tiempo de exposición más largo.

La velocidad de una emulsión se halla directamente relacionada con el tamaño del grano de la emulsión.

En la fotografía amateur, se utilizan dos medidas para conocer la velocidad de la película, una es americana y la otra europea y corresponden a los valores ASA y DIN.

Con las películas aéreas debido al pequeño rango de iluminación, a las condiciones de la bruma atmosférica y a otros factores, sus características son muy diferentes de las películas corrientes. Los

criterios relacionados con la velocidad por lo tanto son también diferentes. Por esta razón la velocidad de las películas se halla expresada en base a otros conceptos, utilizando para ello dos términos que permiten determinar la velocidad de las películas, estos son: el Indice de exposición aéreo (AEI) y la Velocidad de la Emulsión aérea. (AFS)

Sensibilidad espectral El comportamiento de la película fotográfica a un rango grande o pequeño de longitudes de ondas del espectro fotográfico, depende de la sensibilidad de dicha película. Anteriormente se ha realizado una clasificación detallada de los diferentes tipos de emulsiones, entre los que se mencionaron a las emulsiones no cromatizadas y las cromatizadas.

Esta clasificación se halla basada en el rango de sensibilidad espectral que tienen los compuestos de plata de una emulsión fotográfica. La emulsión No cromatizada, es la que solo posee la sensibilidad original de los compuestos de plata de la emulsión.

Si se amplía el rango de sensibilidad espectral a mayores longitudes de onda, mediante la adición de tintes o compuestos químicos, se obtiene el segundo tipo de emulsiones denominadas Emulsiones Cromatizadas, las que a su vez se subdividen en Ortocromáticas, Pancromáticas e Infrarrojo Blanco y Negro.

La sensibilidad espectral de una película fotográfica puede ser ampliada, en función de los tintes o aditivos químicos que se añadan a una emulsión fotográfica.

4.3.3.2 **Propiedades de la estructura de la imagen.-** Estas propiedades tienen como objetivo fundamental ofrecer una información cuantitativa sobre la habilidad de las emulsiones para producir imágenes bien definidas, de alta calidad y cantidad de detalles de una escena. Ellas están relacionadas con las características de los granos componentes de la emulsión, de su forma y dimensiones, etc.

Por ello las características más importantes de una emulsión son las relacionadas con la Granulosidad, Poder de Resolución, la Acutancia y Definición de la imagen.

Granulosidad Si se observa a simple vista la superficie de una emulsión o una película revelada; estructuralmente tendrá una apariencia uniforme y homogénea, pero al observar bajo una moderada amplificación, se apreciará que se halla integrada por grupos de partículas o granos de cristales de compuestos de plata, que adquieren una apariencia granular. El aspecto físico de esta no homogeneidad es conocida como granulosidad.

La granulosidad tiene mucha importancia porque es uno de los factores limitantes en la definición de una imagen.

El tamaño del grano de la emulsión define la cantidad de detalle y definición de la imagen, así una emulsión de grano muy fino, tendrá un registro muy fino del detalle de una escena. Emulsiones de grano grueso pueden registrar menor detalle, pero producen una emulsión más sensible a la luz, o sea es una película más rápida. Para fines de ampliación, las películas de grano fino son mejores que las de grano grueso.

La granulosidad no solo depende de las características físicas y químicas de la emulsión, sino también del tipo de revelado y especialmente de la distribución del tamaño que tienen los cristales de haluros de plata en la emulsión (Densidad).

Poder de Resolución En el capítulo III, se ha definido ampliamente este concepto, sin embargo se debe remarcar que el poder de resolución es un indicativo de la habilidad de una película para poder individualizar dos objetos que se hallen muy próximos en una escena.

El poder de resolución de una película esta determinado por varios factores, siendo los más importantes la granulosidad y el contraste. Las películas de grano grueso, tienen por lo general un bajo poder de resolución.

Se ha indicado en el capítulo anterior, que existen varios métodos para medir el poder de resolución. El más simple y rápido es el de las Tarjetas de Resolución, que permite determinar el número máximo de líneas pares por milímetro que pueden ser distinguidas sobre una película revelada. (Fig.3.24)

Las tarjetas de resolución con un alto contraste producen una mejor resolución que aquellas que tienen un bajo contraste, que son más típicas para rasgos del terreno.

Las películas fotográficas aéreas han sido diseñadas con diferentes valores de resolución, siendo las mas comunes aquellas que se hallan entre 80 líneas/mm y 140 líneas/mm, para contraste del objeto 1000 : 1.

Definición de la imagen y Acutancia La definición o claridad es un concepto muy abstracto y difícil de definirlo. Si se observaran dos fotografías con diferentes definiciones o claridad de imagen, probablemente quienes observan ambas imágenes, podrán coincidir en su apreciación cualitativa sobre la definición o claridad de las imágenes de dichas fotografías, sin embargo sería más exacto si esta apreciación pudiera ser cuantificada.

Por esta razón, se ha desarrollado un método que permita definir cuantitativamente la claridad del borde de las imágenes ya sea en papel o en la película, utilizando para ello un microdensitómetro. Este valor determinado es denominado Acutancia.

Latitud La longitud de escala de tonos que puede ser reproducida por una película es conocida como latitud de la película. Si una película puede reproducir todas las diferencias de colores y brillos de un paisaje, en diferencias de tonos de gris, se dice que la película tiene una latitud alta.

4.4 FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA IMAGEN FOTOGRAFICA

La calidad de la imagen fotográfica es una de las principales condiciones que requiere el fotointérprete para realizar cualquier estudio en base a fotografías aéreas.

Es difícil definir lo que es una fotografía aérea de buena calidad, para ello se debe analizar cuales son los factores que determinan y controlan la calidad de la imagen. Existen muchos puntos de vista para realizar este análisis.Uno de ellos es el realizado por R.N. Colwell, quien establece que tres son los factores que gobiernan la calidad de la imagen fotográfica:

a) Contraste tonal

b) Definición o claridad de la imagen

c) Características del paralaje estereoscópico

Contraste Tonal Es la diferencia en brillo entre la imagen y su contorno. El contraste tonal es una función de varios factores:

- Reflectividad espectral del objeto y su contorno
- Sensibilidad espectral de la película
- Dispersión por partículas de polvo en la atmósfera
- Transmisión espectral por el filtro fotográfico

Las fotografías aéreas que tengan un rango muy limitado de registro de tonos de gris, además de un contraste bajo entre tonos de gris son de uso limitado en fotointerpretación.

Definición o Claridad de la imagen Es la distancia en la que se produce el cambio de un tono a otro tono, que se traduce en la capacidad para identificar claramente los bordes exactos entre dos objetos imagen.

La Definición o Claridad de la imagen es una función de los siguientes factores:

- Aberraciones del sistema de lentes
- Enfoque del sistema de lentes
- Movimiento de la imagen en el momento de la exposición
- Características del material fotográfico empleado.

Características del paralaje estereoscópico Es el desplazamiento de la posición aparente de un cuerpo con referencia a un punto o sistema causado por un desplazamiento en el punto de observación. El paralaje estereoscópico depende de los siguientes factores:

- Altura de la toma fotográfica
- Elevación del objeto fotografiado
- Longitud de la base aérea

Si se considera las características de cada uno de estos factores que se hallan ligados a la calidad de la imagen, es posible establecer que una fotografía aérea tendrá una buena calidad de imagen, si cumple las siguientes condiciones:

a) Debe tener un contraste tonal normal

b) Debe tener una buena definición o claridad de la imagen

c) El paralaje estereoscópico debe permitir una buena visión estereoscópica del modelo. Para ello las posiciones del avión en las tomas consecutivas no deben estar demasiado juntas ni demasiado distanciadas. La separación entre las dos tomas fotográficas consecutivas, denominada Base Fotográfica, debe ser la adecuada para permitir la observación tridimensional del modelo fotografiado.

La fotografía aérea que cumpla con las tres condiciones mencionadas, será la más apropiada para su uso en fotointerpretación.

Los factores que afectan la calidad de la imagen, también pueden ser analizados desde otro punto de vista, en el que se consideren aquellos factores, que luego de analizados puedan bajo ciertas condiciones ser eliminados, corregidos o evitados.

Para ello son agrupados en dos tipos de factores:

a) Factores relativamente constantes

b) Factores naturales

a) Factores relativamente constantes Se los denomina así, porque ellos pueden ser controlados y corregidos por el operador.

Estos factores son agrupados de acuerdo con las características de los componentes del sistema fotográfico y ellos son:

- Factores relacionados con las cámaras aéreas y sus elementos constituyentes.
- Factores relacionados con las propiedades de las películas fotográficas. (Emulsiones)
- Factores relacionados con el proceso del revelado de las películas

Factores relacionados con la cámara aérea Si se desea obtener una imagen de buena calidad, la cámara aérea y las partes que la componen, deben cumplir las siguientes condiciones:

1.- Debe estar bien calibrada para obtener la eficiencia más alta. (Calibrar una cámara significa determinar exactamente sus elementos de orientación interna: Punto principal, distancia principal y distorsión).

2.- El sistema de lentes de la cámara debe cumplir las siguientes condiciones:

- Ser libres de aberraciones y distorsiones
- Tener un alto poder de resolución
- Correcta distancia focal

3.- Se debe cuidar que los dispositivos de compensación del movimiento se hallen en condiciones perfectas. El obturador debe estar en condiciones de asegurar un buen desempeño.

4.- Los filtros deben ser utilizados adecuadamente.

Factores relacionados con las Películas fotográficas Las películas fotográficas deben cumplir con condiciones óptimas en sus propiedades relacionadas con la velocidad, granulosidad, reproducción del tono, claridad, poder de resolución, contraste y sensibilidad espectral.

Factores relacionados con el Revelado El revelado es tan importante como la calidad de la cámara y película, porque el revelado deficiente por sobreexposición u otra causa, dará lugar a una mala calidad de imagen, a pesar de haber utilizado una cámara y una película de excelentes condiciones.

b) Factores naturales Son aquellos factores que se hallan fuera del control del operador y que solo pueden ser evitados, pero no corregidos. Entre ellos se pueden citar:

- Color de los objetos fotografiados
- Posición de los objetos fotografiados con relación a la posición del sol que determina el grado de iluminación y reflectancia. (Angulo Solar)
- Condiciones climáticas
- Condiciones atmosféricas relacionadas con los efectos de la dispersión selectiva y no selectiva.

4.5 CLASIFICACION DE LOS PAPELES FOTOGRAFICOS

El producto final del sistema fotográfico es la fotografía aérea, que generalmente se la obtiene directamente del negativo utilizando papel fotográfico para copias por contacto.

El papel fotográfico es también otro elemento de importancia para el fotointérprete, ya que el trabajo que realiza utilizando las fotografías aéreas, implica un manejo intenso de la fotografía aérea tanto en gabinete como en el terreno, y sobre la cual efectúan una serie de anotaciones. Por ello es necesario, conocer algunas de las características y propiedades más importantes del papel fotográfico que se debe utilizar en trabajos de fotointerpretación.

Las características de un papel fotográfico difiere de las de un negativo, porque es confeccionado sobre un soporte de papel opaco y por lo tanto es observado con luz reflejada y no transmitida como en el negativo.

Para obtener copias de un negativo, existen dos clases de papeles fotográficos:

- Papel para copiar por contacto, que son papeles de baja velocidad, generalmente constituidos por emulsiones de cloruros de plata.
- Papel para copiar por proyección, que son de alta velocidad, con emulsiones de bromuros de plata o clorobromuros. Ambos tipos de papel se hallan numerados de acuerdo al orden en que aumenta el contraste. La escala de la numeración va del 1 al 5.

De acuerdo a la escala de densidades del negativo reproducidas en el papel fotográfico, la superficie del papel fotográfico es de tres tipos:

- Brillosa - comunmente llamado papel brilloso
- Semimate - comunmente llamado papel semimate
- Mate - comunmente llamado papel mate

El papel brilloso tiene mayor registro de densidades del negativo comparado con el papel semimate y mate. Esto significa que los contrastes son más acentuados en este tipo de papel. La desventaja que tiene es la imposibilidad de poder anotar con lápiz sobre su superficie.

Los papeles mate y semimate no tienen ese inconveniente y son más adecuados, para usarlos en fotointerpretación. Otra característica favorable para trabajos de fotointerpretación es que su superficie no tiene tanta reflectancia como la del papel brilloso, cuando se la observa con el estereoscopio.

El papel fotográfico tiene una base que generalmente se la fabrica en tres clases de espesor, denominados:

- Papel de doble peso
- Papel de peso sencillo
- Papel de peso simple o papel fino

Cada uno de estos papeles tiene una aplicación diferente y especial en fotointerpretación. Así el papel de doble peso, debido a su resistencia y consistencia es muy utilizado cuando se debe realizar trabajos que requieren de mucho manejo de las fotos tanto en gabinete como en el campo.

El papel de peso sencillo, es utilizado generalmente solo en gabinete para fines de interpretación.

El papel fino es utilizado para la confección de mosaicos. Es muy útil para obtener copias de modelos fotográficos que se desean incluir en informes técnicos, publicaciones científicas.

4.6 TIPOS DE FOTOGRAFIAS AEREAS

Las fotografías aéreas pueden ser clasificadas de acuerdo a las siguientes aspectos:

a) Orientación del eje de la cámara

b) Sistema de lentes utilizados en la cámara

c) En función de alguna propiedad especial

a) Orientación del eje de la cámara Las fotografías aéreas se clasifican en función de la inclinación del eje de la cámara en dos clases:

- Fotografías verticales
- Fotografías Oblicuas

La fotografía vertical es aquella que ha sido obtenida con el eje óptico de la cámara en posición casi vertical, con un ángulo máximo de 3^{o} de inclinación. (Fig. 4.11)

La fotografía oblícua ha sido obtenida con el eje óptico de la cámara inclinado con valores angulares que varian entre los 3 y 89^{o}. De acuerdo al valor del ángulo de inclinación del eje se subdivide en dos grupos:

- Oblicuas de bajo ángulo
- Oblicuas de alto ángulo

- Las fotografías de bajo ángulo corresponden a aquellas cuyo ángulo de toma es superior a los 10^{o} e inferior al necesario para no registrar el horizonte. (Fig. 4.11)

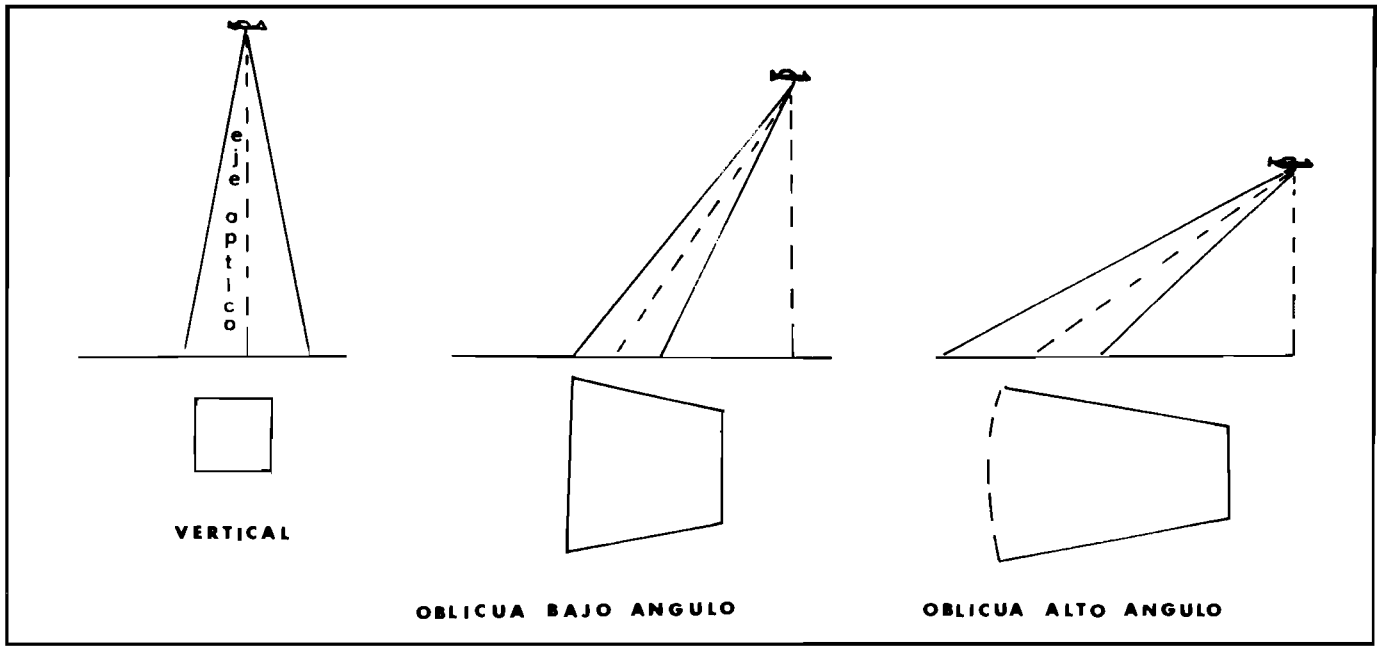


FIGURA 4.11 Clasificación de las fotografías aéreas en función del ángulo de la inclinación del eje de la cámara.

- Las fotografías de alto ángulo muestran el horizonte y corresponden a inclinaciones del eje mayor a los 20^{o}. (Foto 4.2)

Si se comparan las características, ventajas y desventajas entre estos tipos de fotografías aéreas, se verá que cada una de ellas puede ser utilizada para propósitos diferentes y especiales de manera que ellas se complementan en su uso. (Cuadro 4.6)

CUADRO 4.6

COMPARACION ENTRE LOS DIFERENTES TIPOS DE FOTOGRAFIAS AEREAS

Características	Alto ángulo	Bajo ángulo	Vertical
Angulo inclinación	$>20^{o}$	3^{o} a 20^{o}	$<3^{o}$
Recubrimiento área	Muy grande	Grande	Pequeño
Forma del área	Trapezoidal	Trapezoidal	Cuadrangular
Escala	Variable.Decrece del primer plano al horizonte	Variable	Uniforme en general
Diferencia con Mapas	Muy grande	grande	Mínima si el relieve es plano
Aplicaciones	Observaciones regionales y fines ilustración	Observaciones generalizadas	Fotointerpretación y fotogrametría



FOTO 4.2 Fotografía oblícua de alto ángulo. El área cubre la región comprendida entre el Lago Poopó, Uncía y Chayanta. En la parte central de la foto se observa una faja de tonos blancos, que corresponde a un modelo de anomalía tonal, que en el área podría ser una importante guía mineralógica, relacionada con una zona de alteración hidrotermal asociada a probable mineralización de antimonio-oro. (Ref. Capítulo 6)

Clasificación basada en el sistema de lentes Esta clasificación considera el número de lentes utilizado en una cámara aérea, para registrar una o más imágenes. De acuerdo a ello se puede hablar de fotografías obtenidas con cámaras de un solo objetivo y cámaras con más de un objetivo. Entre las primeras se hallan las fotografías verticales, oblicuas. Las segundas corresponden a las multiespectrales, como las producidas por las cámaras multiespectrales ITEK 9L y MARK I I^2 (Foto 3.7)

Clasificación en función de alguna característica especial En este grupo se clasifican a aquellas fotografías que son el resultado de alguna característica especial, como la combinación de una o más cámaras.

Entre ellas se pueden citar a las fotografías **Trimetrogon** que en el pasado fueron muy utilizadas. Son el resultado de la combinación de una cámara vertical con dos ubicadas a derecha e izquierda de la vertical y montadas formando un ángulo de 60^o con la vertical. Las fotografías aéreas que se obtienen corresponden a una fotografía vertical y dos oblicuas de alto ángulo.

4.7 CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS

Las cámaras fotográficas producen las fotografías aéreas en dos tipos de formato o tamaño. Los formatos más comunes son de 23x23 cm. y 18x18 cm.

Las fotografías aéreas en su mayoría llevan información que se halla ubicada en el marco de la fotografía. Entre la información registrada se halla la siguiente:

a) Marcas fiduciales para la determinación del punto principal

b) Altímetro para la determinación de la altura de vuelo

c) Reloj para la determinación de la hora

d) Nivel para la determinación de la inclinación

e) Distancia focal de la Cámara y Calibración de la cámara

f) Número de la fotografía aérea

g) Fecha de la toma fotográfica

PARTE II

INTERPRETACION GEOLOGICA Y GEOMORFOLOGIA MEDIANTE EL USO DE FOTOGRAFIAS AEREAS E IMAGENES DE SATELITE

FOTO-INTERPRETACION

CAPITULO V

5.1 INTRODUCCION

Este capítulo pretende dar las bases que permitan conocer las técnicas y métodos que se utilizan en la interpretación de las fotografías aéreas, con el objeto de obtener algún tipo de información específica.

En el capítulo I, se han presentado los conceptos básicos y definiciones sobre Percepción Remota y Fotointerpretación.

En base a ello, **Fotointerpretación** es la técnica de examinar fotografías aéreas con el propósito de juzgar su significado. Esta definición que fue dada por la Sociedad Americana de Fotogrametría, es la más simple y apropiada para sintetizar de manera general las implicaciones de este concepto.

Sin embargo es necesario recalcar y recordar que en la actualidad se han desarrollado nuevas técnicas que también conducen a la obtención de información basada en el análisis automatizado de imágenes, auxiliado por sistemas y programas de computación. Estas nuevas técnicas que se hallan en proceso de experimentación y desarrollo, no son consideradas en el presente texto, aunque los productos mejorados por este sistema (Imágenes) pueden ser ampliamente utilizados en trabajos de interpretación visual, como el caso de las imágenes Landsat, Spot y otras (Cuadros 1.1 - 1.3 - 1.4 y 1.9).

La cantidad de información obtenida mediante la interpretación, puede ser mejorada substancialmente si se utiliza para ello la combinación de ambas técnicas. (Visual y automatizada). La interpretación visual tiene gran ventaja sobre la automatizada en la apreciación de los datos relacionados con la resolución espacial, espectral y temporal, mientras que su nivel de precisión en el análisis cuantitativo es muy bajo comparado con el análisis digital, donde la resolución radiométrica es superior, especialmente en la diferencia de niveles de brillo que identifica. (64, 128 y 256) En el análisis visual, se puede apreciar solamente un número limitado de niveles diferentes de brillo, que puede llegar como máximo hasta 16.

Al utilizar imágenes que han sido reprocesadas digitalmente se mejora la calidad de la imagen, por lo tanto la interpretación visual que se realiza con este tipo de imágenes ofrece grandes ventajas ya que la información que contiene ha sido optimizada en su resolución espacial y espectral.

Antes de entrar en consideraciones específicas sobre las técnicas en Fotointerpretación, es también necesario remarcar que al hablar de Fotointerpretación, se está excluyendo las técnicas, principios y métodos que existen para interpretar información que se obtiene por otros sistemas como el infrarrojo termal y radar. Las imágenes que se obtienen con los indicados sistemas aunque son similares en apariencia al de las fotografías aéreas, no pueden utilizar los mismos criterios que se emplean para interpretar las fotografías aéreas, ya que alguno de esos criterios como el registro de tonos de gris en la fotografía aérea obedecen a características relacionadas con el color y brillo de los objetos, mientras que en los sistemas infrarrojo termal y radar se deben a otras razones como a las diferencias en temperatura o de rugosidad de los objetos.

Por el contrario, en el caso de la interpretación de imágenes de satélite, registradas con sensores que operan con longitudes de onda del espectro visible e infrarrojo cercano o reflectivo, como las imágenes multiespectrales MSS del Landsat y HRV del Spot, se aplican los mismos principios y técnicas de interpretación que para las fotografías aéreas, ya que el registro de tonos, también se realiza en base al color de los objetos y sus características de reflexión a la luz.

Por esta razón el concepto de Fotointerpretación, puede ser ampliado a la interpretación de imágenes y quizás sea más conveniente hablar de interpretación de imágenes y fotografías aéreas y definirla como el acto de examinar fotografías aéreas y/o imágenes con el propósito de identificar objetos y juzgar su significado.

5.2 ETAPAS Y PROCESOS EN LA INTERPRETACION DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS E IMAGENES

De acuerdo a la definición dada sobre Fotointerpretación o Interpretación de fotografías aéreas e imágenes, existe una secuencia de etapas y procesos cuando se realiza la interpretación de fotografías aéreas, las que en general corresponden a las siguientes:

a) Detección

b) Reconocimiento e identificación

c) Análisis

d) Clasificación

e) Evaluación

f) Deducción e inducción

Los procesos de detección, reconocimiento e identificación, en general están estrechamente relacionados con la visibilidad de los objetos y el conocimiento de los mismos. Por ello es difícil realizar una diferenciación y descripción individual de estos procesos, por lo que se prefiere integrarlos y considerarlos como una de las técnicas de interpretación llamada **Fotolectura.**

Los procesos de Análisis, Clasificación y Evaluación, pueden también ser discutidos en forma conjunta y ser considerados como parte integrante de una de las técnicas de interpretación llamada **Fotoanálisis.**

Por último los procesos basados en el principio de la "convergencia de evidencias" como los relacionados con los métodos de inducción y deducción, conducen a la formulación de las conclusiones finales de la imagen interpretada, y esta etapa es la que constituye lo que de manera más específica o en el sentido estricto es denominado **Fotointerpretación.**

A pesar de la contradicción aparente que se observa en el uso de los términos FOTOLECTURA - FOTOANALISIS y FOTOINTERPRETACION, se prefiere utilizar por esta vez, estos términos en el sentido original que fue planteada cuando solamente se hablaba de Fotointerpretación aplicada a las fotografías aéreas. A continuación se dan las definiciones de estos tres conceptos.

5.2.1 **Fotolectura.-** Como se indicó anteriormente, la fotolectura involucra los procesos de detección, reconocimiento e identificación de objetos o grupos de objetos en la fotografía aérea.

En este contexto "**Detección**" es la determinación de la presencia o ausencia de un objeto o rasgo. "**Reconocimiento**" se refiere al nivel más alto de conocimiento que se tiene sobre un objeto o rasgo. Por último "**Identificación**" significa que la identidad de un objeto o rasgo puede ser determinada con bastante seguridad y detalle para ubicarla en una clase muy específica. Normalmente el intérprete puede calificar la certeza en la identificación que realiza, como posible o probable.

Es la técnica más elemental en el proceso de fotointerpretación, ya que solo requiere de un conocimiento limitado de los rasgos que normalmente registra una fotografía aérea, tales como la identificación de algunas características comunes del relieve (ríos, colinas, montañas, lagos, etc) o construcciones civiles (carreteras, vías ferroviarias, puentes, edificios, poblaciones, ciudades, etc).

Este proceso puede ser comparado con el que realiza una persona que utiliza un mapa topográfico o planimétrico, cuando desea obtener algún tipo de información general y para ello solo requiere estar familiarizado con la simbología convencional que se utiliza en dichos mapas.

Básicamente el fotolector utiliza la fotografía aérea como un "mapa base" excepcionalmente detallado de manera que le sirva como un medio de orientación en su trabajo de campo.

Generalmente el fotolector no requiere del uso permanente del estereoscopio. De igual manera en está técnica es más apropiado el uso de fotomosaicos que el de fotografías aéreas.

5.2.2 **Fotoanálisis.-** El término análisis es usado en diferentes sentidos en fotointerpretación. En algunos casos para referirse a todo lo que involucra el proceso de fotointerpretación. Pero el sentido en que es utilizado en este caso no es ese, por el contrario lo que se desea es enfatizar algo esencial en un proceso de análisis que es la "delineación o separación" de algo.

Por lo tanto Análisis es el proceso de delinear grupos de objetos o de elementos que tienen una individualidad separada para propósitos de interpretación, en otros términos es el proceso de separar algo en sus partes o elementos constituyentes, que permitan el examen de algo para distinguirlo de sus partes componentes o en relación al todo.

El fotoanálisis, incluye aspectos relacionados con la evaluación y clasificación de los objetos identificados, de manera que ello involucra al mismo tiempo los procesos relacionados con la fotolectura. Por lo tanto, si en la etapa de la fotolectura se ha identificado una serie de ríos, en el fotoanálisis ellos pueden ser evaluados y clasificados de acuerdo al arreglo espacial que muestran, pudiendo ser clasificados dentro un determinado tipo de diseño de drenaje. (Dendrítico, parrilla, etc.)

El fotoanálisis requiere del uso permanente del estereoscopio y de algunos instrumentos simples de fotogrametría de restitución de tercer orden. (Estereocord, estereopret, etc)

5.2.3 **Fotointerpretación.-** En el sentido estricto el proceso de fotointerpretación es el más importante y difícil, requiere del conocimiento avanzado de una de las disciplinas que utiliza la fotografía aérea como medio para obtener información sobre los recursos terrestres. (Geología, Agronomía, Suelos, Forestación, Arqueología, etc).

El proceso de fotointerpretación para llegar a conclusiones que den una correcta significación de la información que ofrece una fotografía aérea, emplea dos métodos de investigación científica adaptados a las peculiaridades de esta disciplina. Ellos son la metodología deductiva y la inductiva.

La inducción es el procedimiento lógico por el cual se llega a formular conclusiones generales, tomando como base muchas observaciones particulares y semejantes entre sí.

La deducción es el procedimiento lógico mediante el cual se aplican a casos particulares nuevos las leyes generales ya descubiertas por la inducción.

Por lo tanto en fotointerpretación ambas metodologías se complementan mutuamente, ya que entre ambas existe un nexo o vínculo de unidad que se mantiene durante el proceso de fotointerpretación, en el que tal vez el razonamiento deductivo sea el predominante. A ellos se suma un aspecto que en cierto modo es importante y se refiere a la intuición o capacidad mental del fotointérprete, que tenga cierto tacto, habilidad o facultad para descubrir intuitivamente aquello que constituye lo esencial y lo característico del objeto de su investigación.

Ambos métodos para ser eficientes en su aplicación deben seguir un determinado procedimiento, que en forma sintética corresponde a los siguientes pasos:

a) Conocimiento general del problema

b) Descripción de la información observada, que requiere del examen cuidadoso de los rasgos identificados, para tener una representación lo más exacta posible de ellos. En esta etapa es conveniente no realizar juicios sobre lo que se está observando.

c) Comparación de la información obtenida en las fotografías aéreas con las existentes en zonas similares. La comparación es importante, porque comprender algo, es en cierto modo establecer paralelos que permiten la confrontación precisa entre ellos, de manera que al ir descubriendo sus semejanzas y sus diferencias, sea posible llegar a las causas que los determinan. La comparación facilita la clasificación de los rasgos u objetos observados, que conduce a la generalización de ellos, excluyendo lo singular, lo individual y lo casual. La generalización en este caso revela lo que es necesario, permitiendo la asimilación lógica de lo observado.

d) Explicación de lo observado, que conduce a la formulación de hipótesis, que deben tener un fundamento en lo ya conocido y se relacionen con las conclusiones que de ella se infieran. De esa manera la hipótesis reune lo ya conocido con lo nuevo y con lo que se busca.

   En base a la hipótesis, se debe llegar a las conclusiones finales y definitivas así como a la explicación racional de lo observado, estableciendo las relaciones que los ligan y determinan las causas que las originan.

e) Exposición de las conclusiones, como el resultado final de este proceso.

Por lo expuesto, la fotointerpretación es un proceso muy complejo, que requiere no solamente de la habilidad en la identificación y reconocimiento de objetos en una fotografía aérea, sino del uso de una metodología y de un conocimiento muy específico de la disciplina en estudio, para poder llegar a la exposición de conclusiones con resultados que son el producto de una serie de decisiones complicadas, en las que el intérprete realiza una diferenciación entre hechos de inferencias e inferencias de especulaciones.

Con un ejemplo muy simple se trata de mostrar las diferencias que podrían marcarse entre estas tres etapas y procesos de interpretación. En la fotolectura se identifican ríos, ellos pueden ser clasificados mediante el fotoanálisis en un determinado tipo de diseño de drenaje, por ejemplo el diseño dendrítico. En la última etapa o proceso de interpretación, al que por conveniencia se lo ha llamado fotointerpretación en el sentido estricto, este diseño de drenaje dendrítico identificado y clasificado, permite al intérprete sacar una serie de conclusiones relacionadas con el tipo de roca, características de la intensidad de erosión y del relieve existente en la fotografía.

Este ejemplo, muestra que la fotointerpretación es un proceso más complejo y complicado que los de fotolectura y fotoanálisis, ya que la fotointerpretación no solamente se limita al acto de examinar las fotografías aéreas sino que requiere de un proceso más amplio en el que se plantean hipótesis, y se acude al conocimiento especializado del intérprete.

Sin embargo, es importante remarcar que en la práctica los tres procesos o etapas de interpretación no pueden ser separados debido a la estrecha conexión que existe entre ellos y en especial la fotointerpretación (sensu-estricto) incluye todas las características asignadas a la fotolectura y al fotoanálisis.

El principio de estereoscopía o la percepción de un modelo tridimensional, en el que se aprecia el efecto de profundidad, es básico en fotointerpretación.

5.3 NIVELES DE REFERENCIA

Cuando se realiza la interpretación de fotografías aéreas, es necesario que el intérprete cuente con cierta cantidad de conocimiento, que le permita obtener una determinada clase y cantidad de información general, local o específica de la zona observada a través de las indicadas fotografías aéreas.

La cantidad y clase de conocimiento que se posee para ser aplicada en la interpretación de las fotografías aéreas varia de persona a persona y han sido denominadas Niveles de Referencia

El Nivel de Referencia puede ser definido como la cantidad de conocimiento ya sea general, local o específico que posee una persona que interpreta fotografías aéreas.

De acuerdo a la definición, se establece que existen tres tipos de niveles de referencia y son denominados:

a) General

b) Local

c) Específico

5.3.1 **Nivel de referencia general.-** Es el conocimiento que posee una persona de acuerdo al grado de su instrucción, y es el que corresponde al intérprete amateur.

5.3.2 **Nivel de referencia local.-** Es el conocimiento que poseen las personas de acuerdo al medio en el que desarrollan sus actividades. Ello significa que las personas que viven en una determinada región o país tendrá más facilidad en la identificación de rasgos de un determinado tipo de paisaje que las personas de otras regiones o paises. Por ejemplo la gente que ha desarrollado sus actividades en una región montañosa de clima semiárido, tendrá dificultad en identificar los diferentes tipos de bosque o vegetación que puede tener una región de clima tropical y relieve plano.

5.3.3 **Nivel de referencia específico.-** Es el conocimiento que un profesional tiene en relación a una de las diversas ciencias en las cuales se desea efectuar estudios de fotointerpretación.

Para fines de fotointerpretación este es el nivel de referencia más importante, ya que sin el conocimiento de una de las indicadas especializaciones, es imposible extraer información de las fotografías aéreas.

El profesional geólogo, al interpretar una fotografía aérea, pondrá mayor énfasis en analizar las características, procesos y fenómenos geológicos existentes en ese modelo, que otros rasgos y características relacionadas con otra disciplinas que pudieran mostrarse en la fotografía aérea.

Además del grado del nivel de referencia con el que cuenta un fotointérprete, la cantidad de información que pueda extraerse de la fotografía aérea, depende de los siguientes factores:

a) El propósito para el cual se realiza la interpretación

b) La persona que ejecuta la interpretación

c) La calidad de las fotografías aéreas a utilizar

d) La calidad y tipo de instrumentos utilizados

e) La escala utilizada

f) Información previa existente del área a estudiar

5.4 LA FOTOINTERPRETACION Y SU DIVISION

La aplicación de la fotografía aérea en diferentes tipos de investigaciones relacionados con los campos de la Geología, Geomorfología, Suelos, Forestal, Ingeniería Civil, Arqueología, Hidrología, Geografía, Planeamiento urbano y regional, etc. (Cuadro 1.10) ha dado lugar a que la fotointerpretación se subdivida en diferentes especialidades entre las que se pueden citar a la Fotogeología, Fotogeomorfología, Fotointerpretación de Suelos, Fotointerpretación Forestal, Fotointerpretación Aplicada a la Geografía, Fotointerpretación Militar, Fotoarqueología, Fotointerpretación Aplicada a la Ingeniería Civil, etc.

Aunque cada una de estas especialidades tiene objetivos diferentes, la mayoría de ellas se hallan íntimamente interrelacionadas, ya que las formas o rasgos individuales del terreno registrado en una fotografía aérea, son el producto de la acción de varios procesos que han actuado bajo ciertas condiciones (climáticas, tiempo, hidrológicas, geomorfológicas, etc.) dando lugar al desarrollo de un determinado tipo de relieve o paisaje asociado con cierto tipo de vegetación, formas, condiciones hidrológicas, rocas, suelos, etc, por lo tanto los criterios utilizados para realizar la fotointerpretación en estas diferentes especialidades son en su mayoría similares, razón por la cual el fotointérprete mientras mayor cantidad de conocimiento posea en las disciplinas mencionadas, más eficiente será la interpretación que realice en su especialidad.

5.5 INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN FOTOINTERPRETACION

Los instrumentos que se utilizan en cualquier trabajo de fotointerpretación, son simples y baratos en relación al que se requiere para la implementación de un gabinete para fotogrametría.

En fotointerpretación, se utilizan instrumentos para dos propósitos fundamentales:

a) Para realizar la interpretación de las fotografías aéreas.

b) Para realizar la transferencia de los datos anotados en la fotografía a un mapa topográfico o planimétrico, que generalmente son llamados mapas base

a) Los instrumentos utilizados para realizar la interpretación de las fotografías aéreas corresponden a dos grupos:

   a) En el primero se hallan los diferentes tipos de ESTEREOSCOPIOS

   b) En el segundo se halla el grupo de los ESTEREOMICROSCOPIOS

5.5.1 **Estereoscopios.-** Un estereoscopio es un instrumento que se utiliza para observar pares de fotografías aéreas, con el propósito de obtener una imagen estereoscópica o tridimensional, que permite percibir la profundidad del relieve en forma perfecta y clara. La observación tridimensional de un modelo estereoscópico facilita considerablemente la interpretación de los detalles de los objetos, tanto en su estructura superficial como en su composición material bajo ciertas condiciones.

La imagen tridimensional vista a través del estereoscopio es llamado modelo estereoscópico. (Este instrumento fue inventado por Charles Wheatstone en 1838).

5.5.1.1 **Tipos de estereoscopios.-** Existen dos tipos de estereoscopios.

a) Estereoscopio de lentes o de refracción, llamado también estereoscopio de bolsillo.

b) Estereoscopio de espejos o de reflexión.

5.5.1.1.a **Estereoscopio de lentes o de bolsillo.-** Es el tipo más sencillo de estereoscopio, se halla constituido por un par de lentes biconvexos como el de una lupa corriente y su amplificación suele oscilar entre 2X y 2.8X. proporcionando una excelente imagen estereoscópica del terreno.

La desventaja que tiene este estereoscopio se debe al insuficiente espacio que existe para anotar sobre la fotografía durante el proceso de interpretación, además que una parte de la fotografía se halla cubierta por la otra cuando son observadas (Foto 5.1) lo que impide que la fotografía entera pueda ser observada en una sola operación.

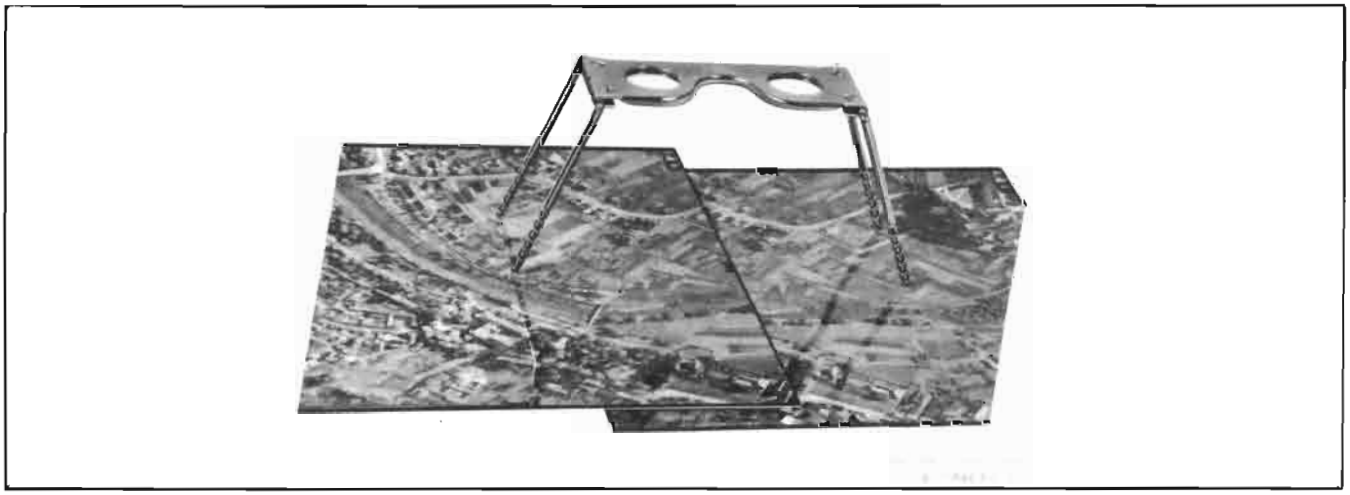


FOTO 5.1 Estereoscopio de lente o de refracción también llamado de bolsillo (ZEISS-Modelo TS4)

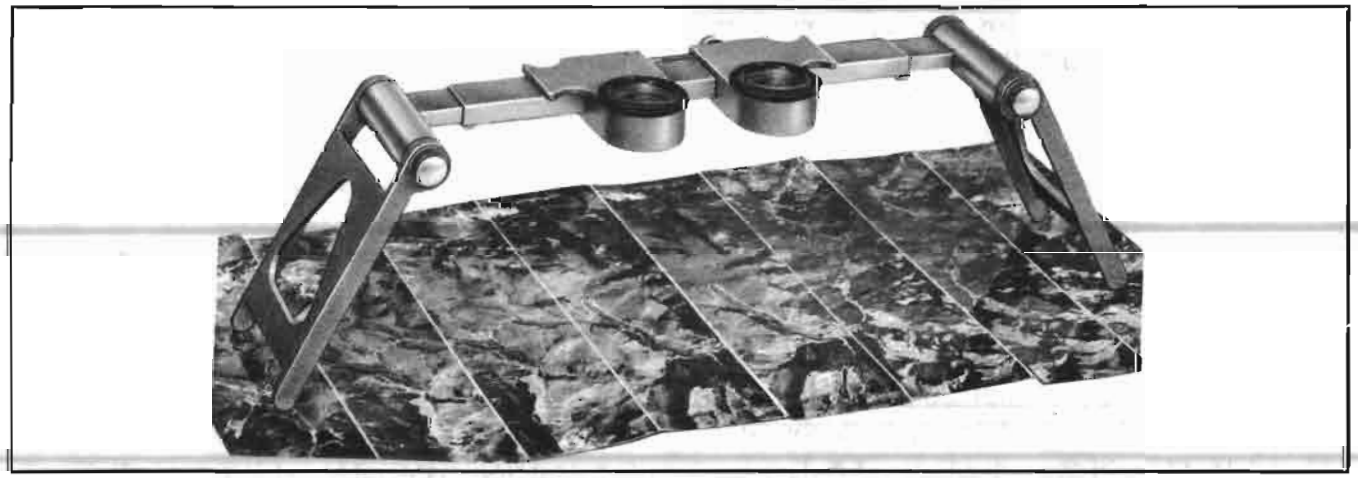


FOTO 5.2 Estereoscopio de puentes (ZEISS-Modelo B5)

Existen diferentes modelos de este tipo de estereoscopios, que varian de acuerdo a algún objetivo especial para el que fue diseñado por las diferentes fabricas que las manufacturan. Entre los más conocidos se puede nombrar a los siguientes: El estereoscopio de puente BS, fabricado por la casa Zeiss, debido a las características de su construcción, el puente portalupas puede ser estirado, para adaptarse a la distancia interpupilar del intérprete, además proporciona mayor espacio para anotar sobre las fotografías aéreas. (Foto 5.2) Los modelos Casella, Abrams, Fairey surveys son los más comunes.

Otro estereoscopio de bolsillo es el estereoscopio métrico de bolsillo, que tiene montado un dispositivo de medición de paralajes. (Foto 5.3)

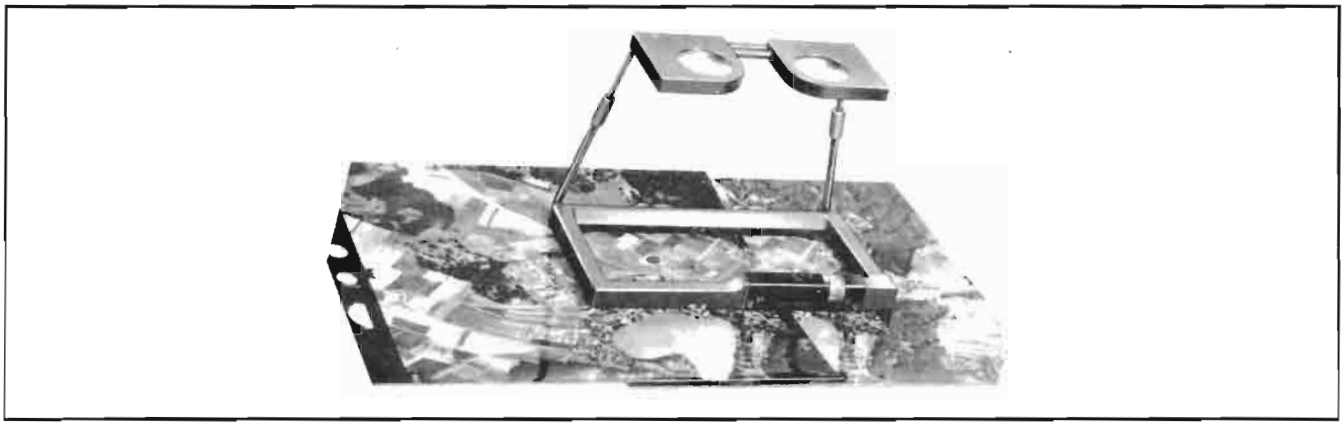


FOTO 5.3 Estereoscopio métrico de bolsillo (ZEISS)

5.5.1.1.b **Estereoscopio de espejos y prismas.-** Este tipo de estereoscopios está constituido por un sistema de espejos y prismas que permiten aumentar considerablemente la distancia entre las fotografías aéreas cuando son orientadas para su observación, ello deja más espacio para anotar sobre las fotografías aéreas.

Por lo general este tipo de estereoscopios se caracteriza por permitir una visión de conjunto y de detalle del modelo estereoscópico, para lo cual cuenta con un par de lupas, cuyo campo de visión cubre toda el área de sobreposición que corresponde a un par estereoscópico de 23x23 cm. Sobre las lupas, mediante un sistema de acople tipo bisagra, se hallan montados anteojos de observación intercambiables y de diferentes aumentos (3x - 6x u 8x). Tanto lupas como anteojos pueden ser ajustadas a distancias interpupilares que varían entre 56 y 74 milímetros.

La distancia entre espejos o base instrumental, varía entre los 210 a 250 mm, de acuerdo al modelo y la firma que los construyen.

Entre los modelos más comunes se encuentran los siguientes:

- Wild ST3 y ST4 , (Foto 5.4) de fabricación suiza.
- Zeiss N2 y OV. (Foto 5.5) de fabricación alemana.
- Topcon y Nikon de fabricación Japonesa.
- Entre otros se halla el Casella, SOM (Francia) y el Zeiss Jena (Alemania Oriental) y el Fairey Surveys (Inglaterra)

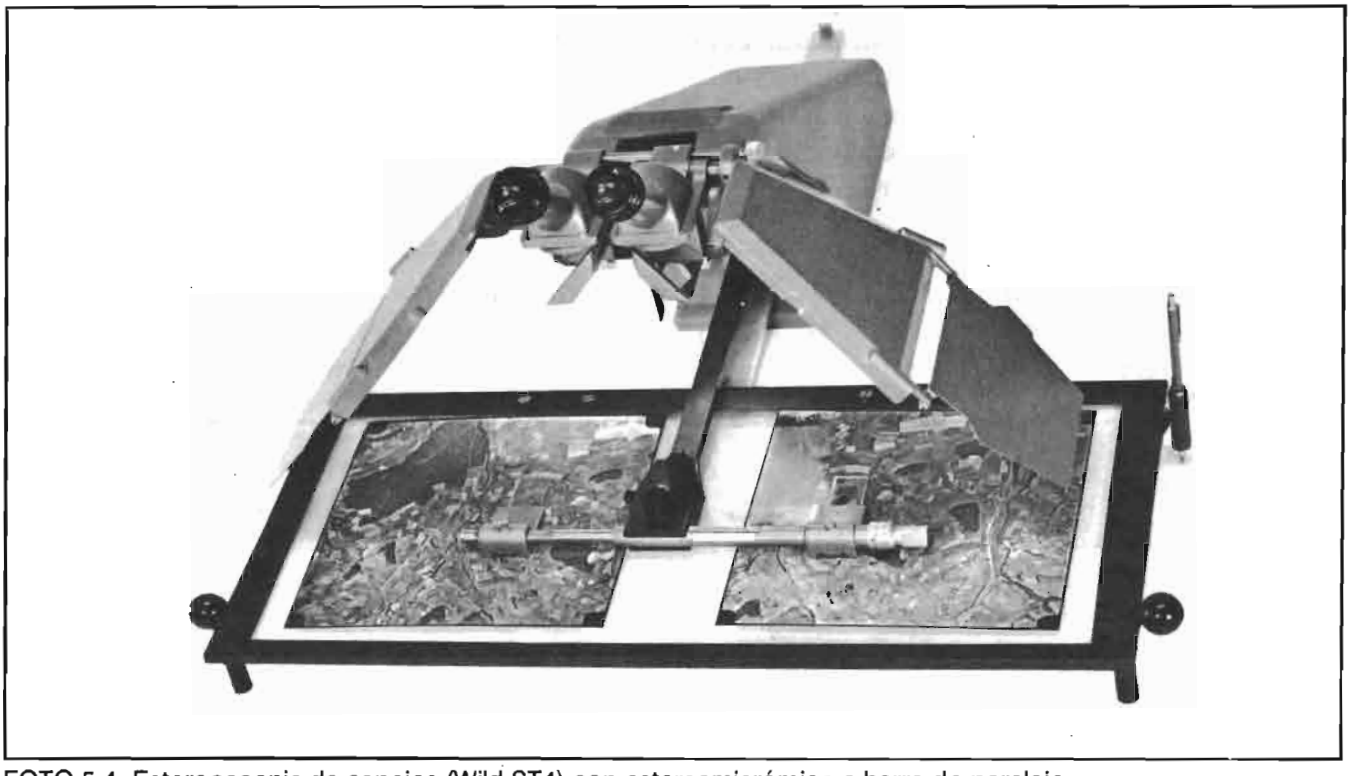


FOTO 5.4 Estereoscopio de espejos (Wild ST4) con estereomicrómico o barra de paralaje .

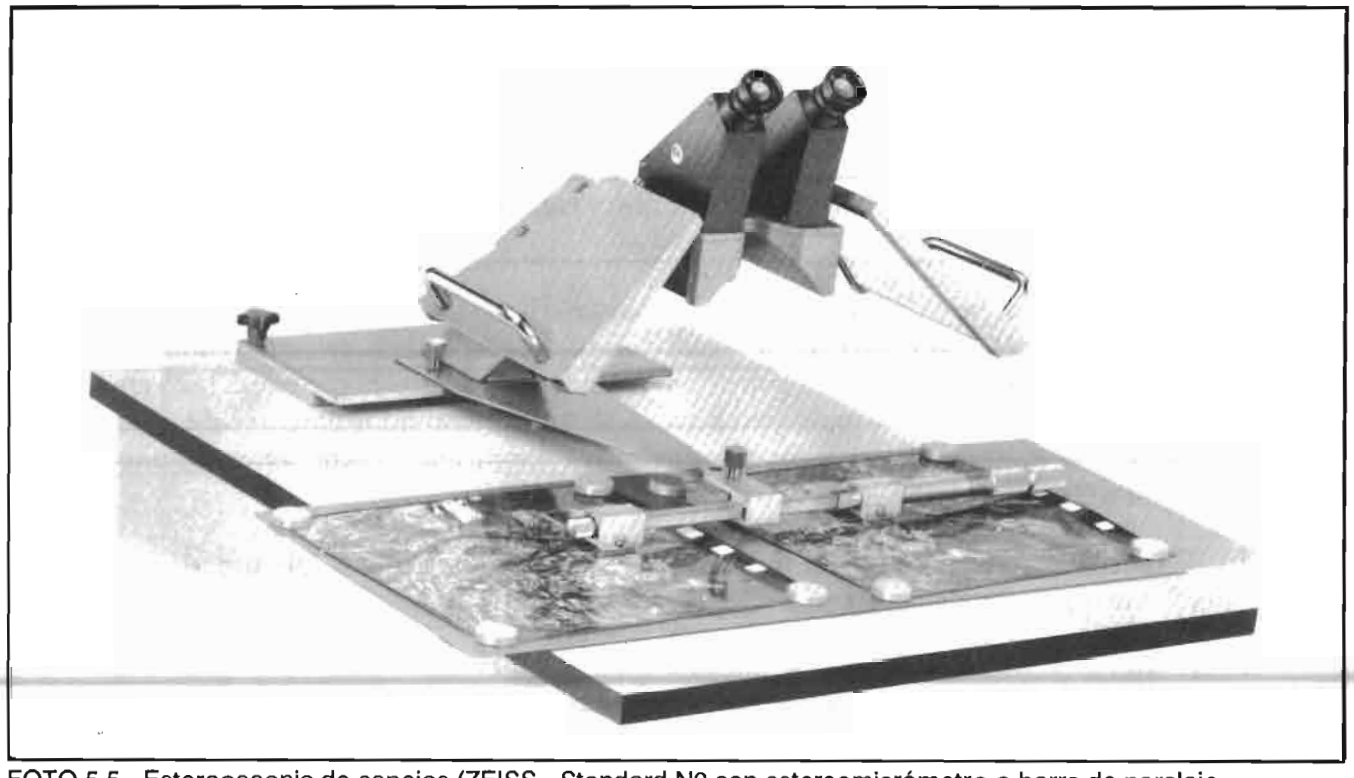


FOTO 5.5 Estereoscopio de espejos (ZEISS - Standard N2 con estereomicrómetro o barra de paralaje

Todos estos estereoscopios, se hallan provistos de un accesorio para la medición de diferencias de desnivel, o cálculo de elevaciones. Se trata del estereomicrómetro o barra de paralaje cuya descripción y manejo se explica en la tercera parte de este texto.

Existe un estereoscopio de espejos de bolsillo, diseñado por la casa Wild Heerbrug, modelo TSP1. Los espejos que son plegables tienen una distancia central de 170 mm., el gran diámetro de las lupas de observación es ajustable para diferentes distancias interpupilares. Se puede trabajar con fotografías aéreas de tamaño 23 x 23 cm. sin que ellas tengan que ser dobladas o sobrepuestas para ver estereoscopía.

Un tipo especial de estereoscopio es el de doble observación, diseñado para que dos personas puedan observar en forma simultánea el mismo modelo, lo que facilita discutir los detalles observados y resolver en forma conjunta los problemas que pueda presentar la interpretación de una imagen. Una de las aplicaciones más efectivas es en el campo educacional y de entrenamiento.

Uno de los más utilizados es el "Old Delft Scanning Stereoscope", que como su nombre lo indica, se caracteriza porque se puede observar toda la imagen sin tener que mover el estereoscopio. Para ello cuenta con un sistema de lentes y prismas de rotación que son operados mediante dos botones de desplazamiento en dirección X e Y. (Foto 5.6)



FOTO 5.6 Old Delft Scanning Stereocope

Otros estereoscopios con características similares al descrito anteriormente son el Interpretoscopio de la Carl Zeiss Jena, el modelo Condor T-22 y T22Y de fabricación japonesa (Foto 5.7), y el estereoscopio Galileo Santoni SFG3/b.

5.5.2 **Estereomicroscopios.-** Estos instrumentos que tienen el mismo principio que el de los estereoscopios, cuentan con un sistema óptico de alta calidad, alta resolución que le permite reconocer los detalles más pequeños en cualquier parte de la imagen con aumentos que pueden llegar hasta 31 veces, como en el caso de los modelos Aviopret APT1 y APT2 de la casa Wild, en el que los oculares son gran angulares intercambiables con un sistema de enfoque variable tipo zoom. Utiliza una carro portafotos, que puede incluir un sistema de iluminación de luz transmitida, para



FOTO 5.7 Estereoscopio de doble interpretación modelo "CONDOR" T22Y

trabajar con películas. Entre otros accesorios, se halla un estereomicrómetro y un equipo fotográfico para la toma de fotografías de los sectores que son de interés para el intérprete. Foto 5.8) Para la

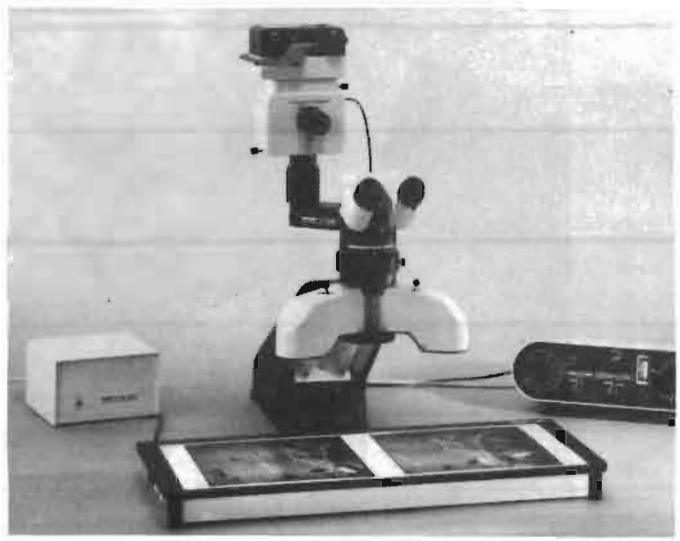


FOTO 5.8 Estereoscopio ZOOM (Wild Aviopert APT1 con cámara fotográgica)

observación simultánea por dos observadores se acopla el tubo de discusión. (Foto 5.9)

Un instrumento similar al anterior es el diseñado por la Bausch & Lomb, modelos Zoom 95 y Zoom 240 con aumentos comprendidos entre 2X - 20X y 3X - 120X respectivamente.

Cuando se desea observar algunos detalles de los objetos en las fotografías aéreas, bajo aumentos mayores, sin utilizar estereoscopio, pero con la participación de ambos ojos en la observación de una sola fotografía, se utilizan los microscopios binoculares tipo Zoom (Foto 5.10). Este instrumento es muy utilizado en la interpretación de imágenes de satélite como el Landsat y Spot.



FOTO 5.9 Estereomicroscopio Zoom con el dispositivo Tubo de Discusión (Wild Aviopret APT1)

Otro instrumento muy simple que puede ser utilizado en la observación monoscópica de fotografías aéreas e imágenes de satélite es la Lupa para interpretación monoscópica.(Foto 5.11)

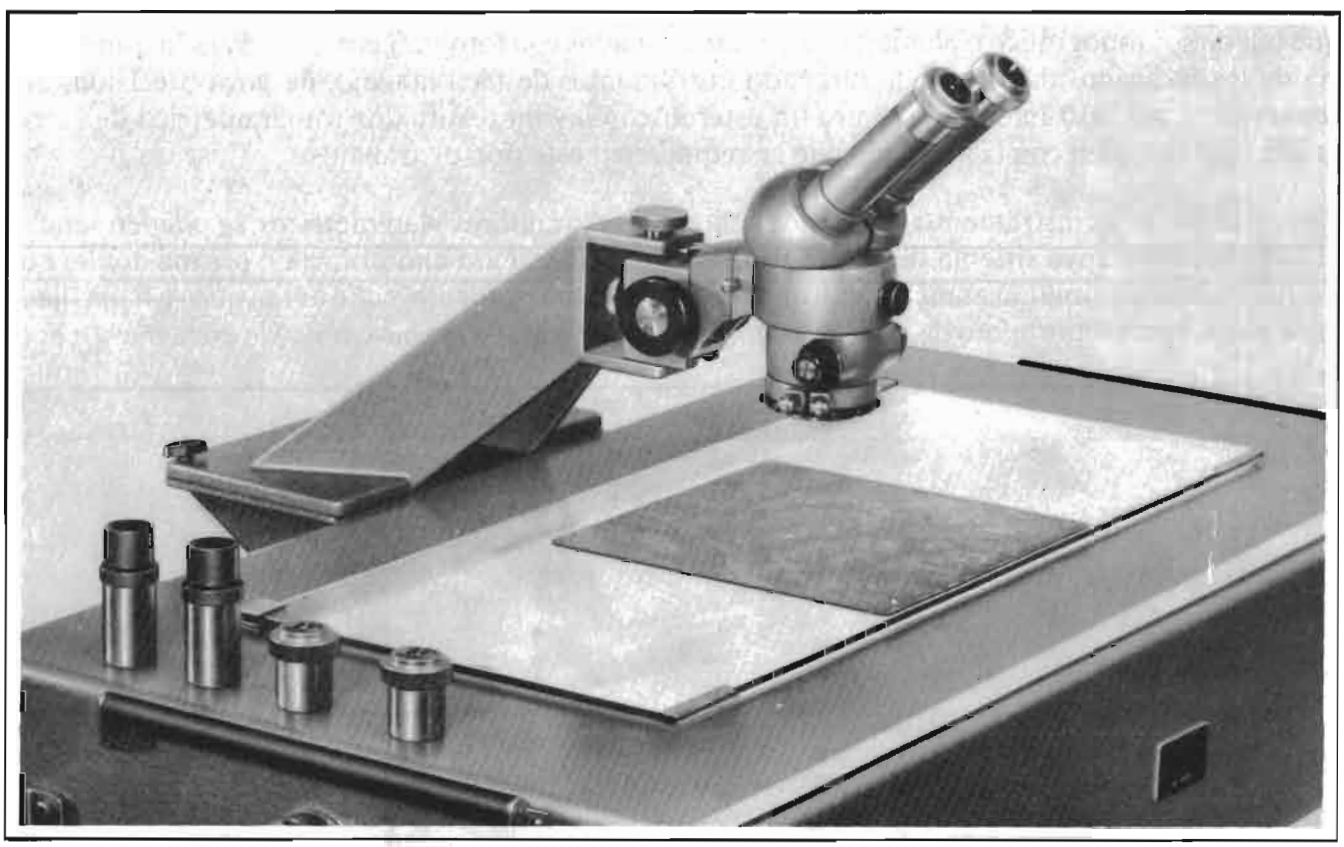


FOTO 5.10 Estereomicroscopio Zoom III (Ziess)



FOTO 5.11 Lupa para la interpretación monoscópica (Zeiss)

5.5.3 **Instrumentos utilizados para la transferencia de información .-** Los datos anotados sobre las fotografías aéreas durante el proceso de interpretación, luego deben ser transferidos a un mapa que puede ser topográfico o planimétrico, confeccionados con fotografías aéreas. Para la transferencia de los indicados datos, se han diseñado instrumentos de fácil manejo, de poca precisión, que representan un paso intermedio entre un estereoscopio y un restituidor fotogramétrico de tercer grado, que cumplen con la precisión que se requiere en este tipo de trabajos.

Entre estos instrumentos que se los denomina restituidores planimétricos, se pueden señalar al **Sketchmaster** cuyo sistema de observación es monocular. Para ello utiliza un prisma doble, que permite observar simultáneamente una imagen superpuesta de la fotografía aérea que se halla fijada en la placa vertical portafoto del instrumento y el mapa planimétrico base ubicado en la mesa. (Foto 5.12).

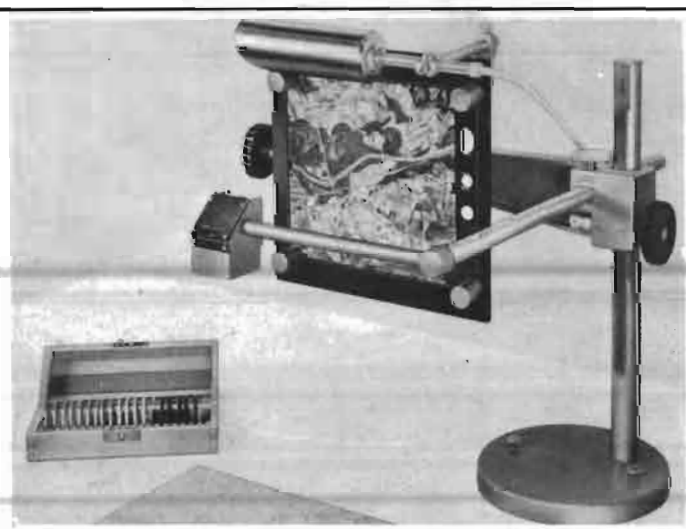


FOTO 5.12 Aéreo-Sketchmaster Luz (ZEISS)

Algunos modelos permiten un ajuste rápido de la escala entre mapa y foto, mediante el desplazamiento vertical de la placa portafotos o el desplazamiento horizontal del eje donde se halla el prisma de observación, además del movimiento de giro que tiene la placa portafoto, que ayuda a suprimir algunas distorsiones de perspectiva causadas por alguna desviación de la dirección de toma con relación a la vertical. Este instrumento es eficiente cuando es utilizado para trabajar con relieve que sea relativamente llano, que no muestre diferencias exageradas de relieve. Los modelos más utilizados son el AéreoSketchmaster Luz de la Zeiss (Foto 5.12), el Sketchmaster vertical tipo 260GE, y el Sketchmaster Jena (ZeissJena).

La Hilger and Watts, ha diseñado un Sketchmaster para visión estereoscópica, para lo cual trabaja con dos fotografías y un estereoscopio de espejos y prismas y dos mesas, basado en el mismo principio del sketchmaster.

En los últimos 15 años, ha aparecido en el mercado un nuevo instrumento diseñado por la Bausch and Lomb, que ha sido denominado Zoom Transfer scope (ZTF), basado también en la cámara lúcida y con aplicaciones similares a las del Sketchmaster. (Foto 5.13)

Este instrumento a diferencia del Sketchmaster, utiliza un sistema óptico de observación binocular, que facilita el trabajo y evita la fatiga de la vista.

El sistema zoom, permite operar con una gama de aumentos que van desde 1X hasta 14X, que facilita un ajuste rápido de la escala de la foto a la del mapa. Puede también ser utilizado para la transferencia de datos desde imágenes de satélite a mapas que incluso no fueron confeccionados en base a métodos fotogramétricos.

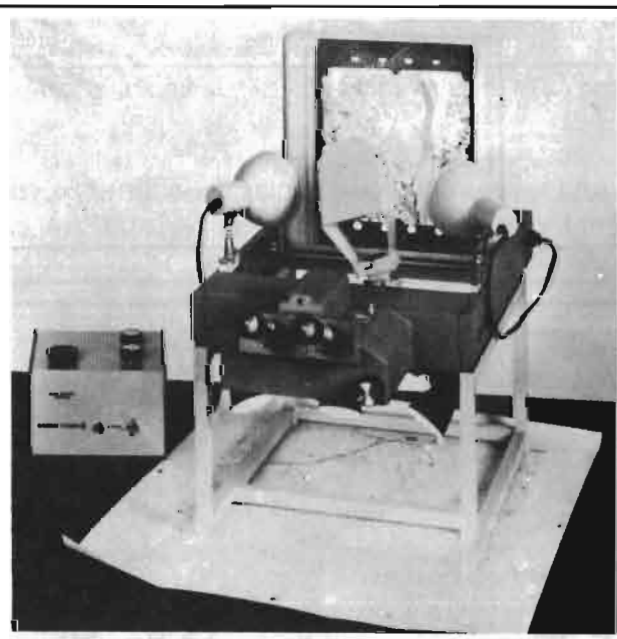


FOTO 5.13 Zoom Transfer Scope - ZT4 de base angosta (Bausch & Lomb)

Tiene un sistema anamórfico de compensación para anomalías geométricas de la imagen fotográfica, especialmente las debidas a la inclinación, relieve, curvatura de la tierra, distorsiones de la lente, etc. El método óptico moderno del sistema anamórfico, produce un alargamiento de la imagen en solo una dirección y opera mediante un botón de control que selecciona la dirección del alargamiento, que generalmente se realiza cuando el relieve del terreno es pronunciado.

El ZTS también posee la capacidad de ampliar, girar y trasladar la imagen de la fotografía de manera que sea posible observarla en superposición con la imagen de un mapa, permitiendo la transferencia de los datos de la foto a la del mapa.

Trabaja con cualquier tipo de formato incluyendo transparencias, incluso imágenes radar e infrarrojo termal.

Existen dos modelos que se diferencian por el tamaño y las dimensiones de la base del instrumento, que en este caso se refiere a la separación que existe entre las patas del instrumento, que determinan mayor o menor área del espacio ocupado por el mapa donde se transfiere la información y corresponden a los modelos ZT4 y el ZT4H. (Fotos 5.13 y 5.14).

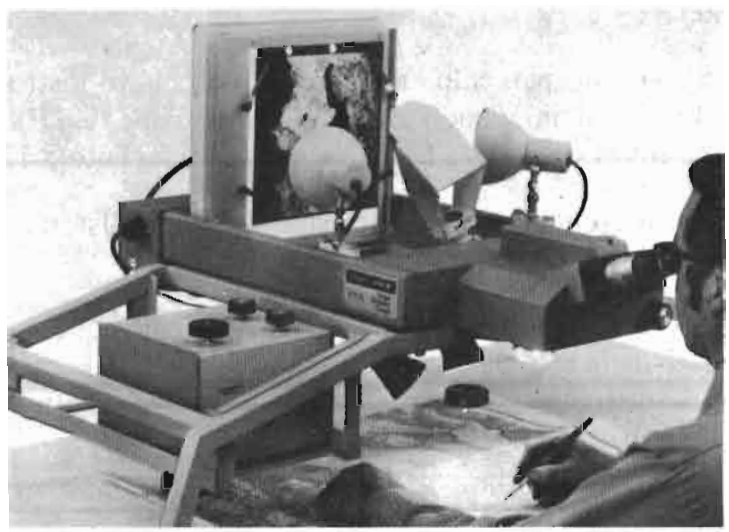


FOTO 5.14 Zoom Transfer Scope - ZT4 de base ancha (Bausch & Lomb)

El modelo ZT4H es un modelo en el que la placa portafotos vertical es reemplazada por un tablero horizontal transparente, que permite no solo transferir información de una foto a un mapa, sino trabajar con dos mapas de diferente escala.(Foto 5.15)

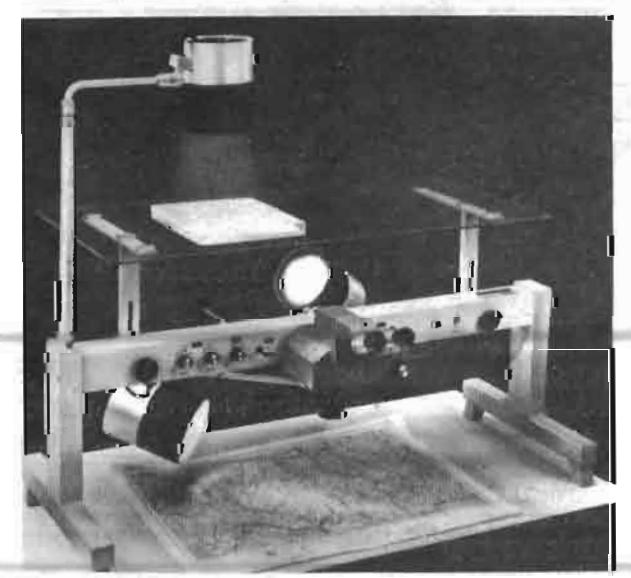


FOTO 5.15 Zoom Transfer Scope - ZT4 - H con tablero horizontal transparente (Bausch & Lomb)

Un nuevo diseño de este instrumento, utiliza dos fotografías aéreas que permite la visión estereoscópica o tridimensional del modelo fotográfico. Además se halla integrado por un módulo para mediciones verticales que permite medir la altura de objetos, elevaciones del terreno, datos que luego pueden ser almacenados y transferidos a una impresora, a un plotter o a un dispositivo externo de una computadora. Este instrumento ya no utiliza un estereomicrómetro para la lectura de paralajes, ha desarrollado un sistema analítico llamado Módulo de mediciones verticales. Este instrumento diseñado también por la Bausch & Lomb denominado Estereo Zoom Transfer Scope con Módulo para mediciones verticales.

La ventaja de este nuevo diseño, es que al contar con el Módulo para Mediciones Verticales, puede además ser utilizado para realizar medidas relacionadas con el cálculo de la profundidad de excavaciones, perfiles topográficos del terreno, volúmenes de tierra a mover, cálculo de inclinaciones de taludes, estimaciones de erosión del suelo en llanuras de inundación, etc.

Otro instrumento empleado en Fotointerpretación, que también es utilizado en la transferencia de datos, actualización de mapas, cálculos y estimaciones similares a las que realiza el anterior instrumento, es el Esterecord G2 diseñado por la casa Zeiss, que reemplaza al Estereotopo discontinuado en su fabricación. El estereocord G2 es un estereomedidor para la restitución fotográfica, integrado con un equipo de computación y el software correspondiente. (Foto 5.16)

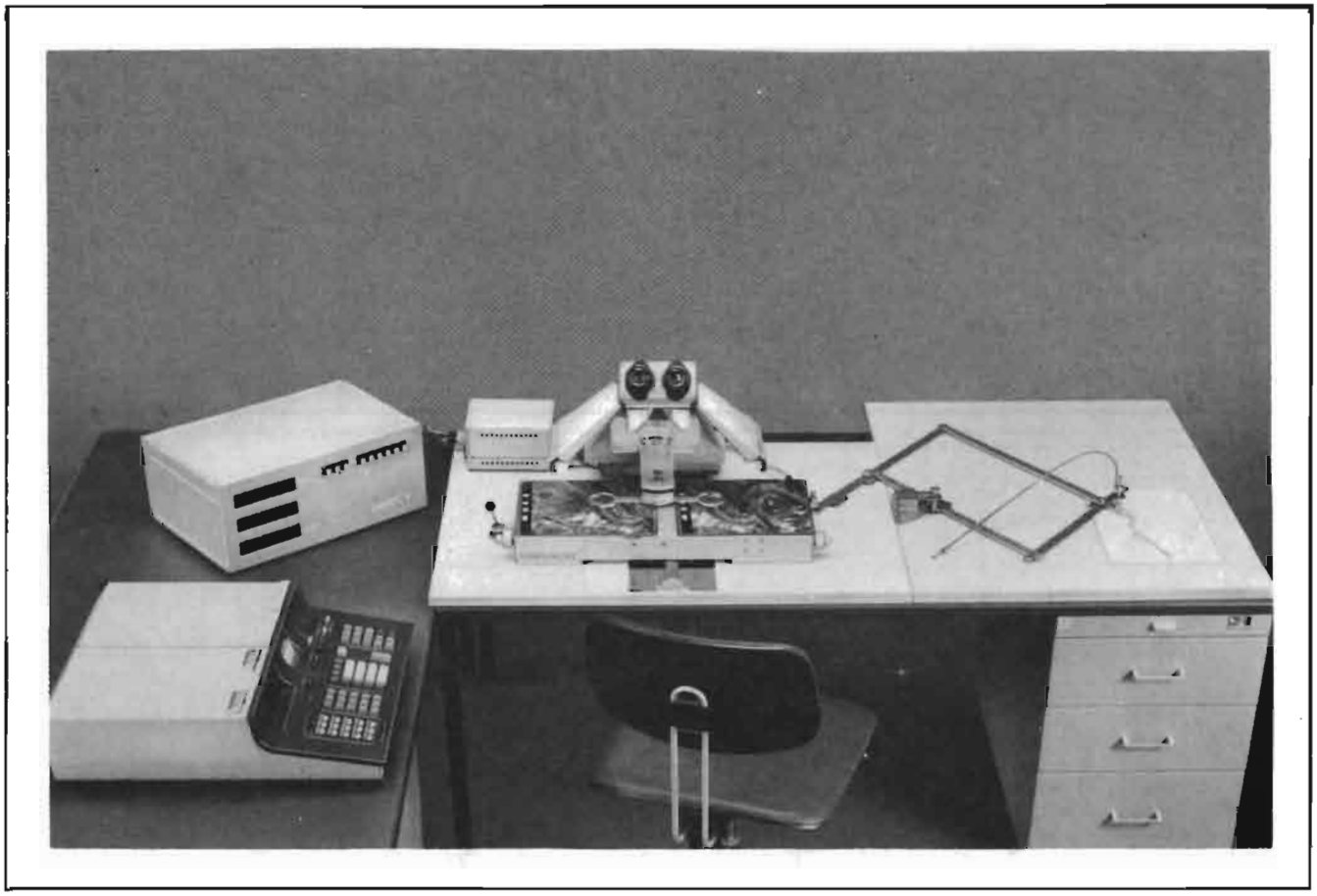


FOTO 5.16 Estereocord G2 con pantógrafo adicional conectado (Zeiss)

FOTOGEOLOGIA Y CRITERIOS DE OBSERVACION FOTOGEOLOGICA

CAPITULO VI

6.1 INTRODUCCION

La primera referencia que se tiene sobre el uso de fotografías aéreas para propósitos de mapeo geológico, fué el año 1913, en Libia. Las fotografías aéreas fueron utilizadas para construir un mosaico de la región de Bengasi.

Durante los años de la Primera Guerra Mundial, se iniciaron los primeros intentos para realizar estudios geológicos en las fotografías aéreas.

Por los años 1920, se empezó a utilizar la fotografía aérea como un mapa base, para representar los datos geológicos mapeados por geólogos mineros y petroleros.

Posteriormente entre los años 1928 y 1929, se realizaron los primeros estudios geológicos con fotografías aéreas aplicados a la exploración de yacimientos de petróleo en el área de la región de Oklahoma.

Entre los años 1935 y 1938, por primera vez se utilizan fotografías aéreas a nivel operacional, en la exploración de petróleo, de un área de aproximadamente 100000 Km^2 ubicada en Nueva Guinea, bajo la dirección de la Compañía Petrolera Holandesa de Nueva Guinea.

El término Fotogeológía es introducido y definido por H.C. Rea en 1941, el cual tiene rápida aceptación, aunque existen algunos investigadores que todavía prefieren utilizar el término Aereogeología (Levings 1944, H. Von Bandat 1962).

Al presente la fotogeología, se ha convertido en una parte comparativamente pequeña del vasto campo de lo que es la percepción remota.

6.2 FOTOGEOLOGIA

El término **FOTOGEOLOGIA** ha sido utilizado para referirse a la interpretación que se realiza sobre las fotografías aéreas con el objeto de obtener información sobre las características geológicas de una determinada zona. Ello significa que un geológo con cierta experiencia en su profesión puede identificar en la fotografía aérea, las diferentes estructuras geológicas como fallas, diaclasas, pliegues, tipos de roca y las diferentes formas del relieve producidas por agentes y procesos geomórficos.

Toda esta información correctamente integrada y complementada necesariamente con trabajo de campo, dará el cuadro geológico regional de una determinada área, que luego es representada en un mapa geológico.

Debido al gran avance ocurrido en percepción remota durante los últimos 20 años, se dispone de gran cantidad de datos suministrados por los diferentes tipos de sensores remotos, que operan en varias regiones del espectro electromagnético. La información así obtenida, está siendo utilizada en forma experimental para determinar las ventajas que ofrece en geología.

Esta evolución tan rápida, hasta llegar al procesamiento digital de imagenes, ha cambiado el sentido y las limitaciones del concepto muy enraizado de lo que es fotogeología, para pensar en un sentido más amplio, como en el de **Percepción Remota en Geología** que podría definirse como: **el análisis de los datos** adquiridos por sensores remotos que registran energía en una o más longitudes de onda a ser aplicadas en estudios geológicos.

A pesar de lo anteriormente dicho, existe una serie de factores que al presente determinan que todavía por mucho tiempo más, la fotografía aérea seguirá siendo una de las herramientas más útiles, económicas y rápidas para su aplicación en el campo de la geología.

Por esta razón se prefiere utilizar el término fotogeología y establecer los principios básicos que constituyen la base para la interpretación de imágenes que operan con longitudes de onda que corresponden al espectro visible y al infrarrojo cercano o reflectivo. Estos principios pueden ser aplicados casi en su totalidad cuando se interpreta imágenes obtenidas con otras longitudes de onda del espectro visible. (infrarrojo termal y radar).

En consecuencia, la fotografía aérea convencional en blanco y negro y las imágenes de los satélites Landsat y Spot, que se hallan limitadas al espectro visible e infrarrojo cercano son las más utilizadas, razón por la cual es conveniente iniciar la etapa de enseñanza y de aprendizaje, utilizando fotografías aéreas, preparadas en forma de esteropares y estereotriplets, que deben ser observados con un estereoscopio de bolsillo, que permite una visión del modelo observado en tres dimensiones para su estudio. Los ejemplos presentados en la Parte IV de este texto, han sido seleccionados tomando en cuenta los fines que persigue este texto y corresponden a diferentes regiones geográficas, geomorfológicas y geológicas del territorio boliviano.

Las fotografías aéreas a color debido al costo más elevado comparado con las convencionales blanco y negro, no son muy utilizadas a pesar de las ventajas que ellas tienen en la mejor discriminación cromática para el ojo humano, especialmente cuando se realiza estudios aplicados en la exploración de yacimientos minerales.

6.2.1 **Relación con otras disciplinas de las Ciencias Geológicas.-** Como en cualquier ciencia o técnica, en fotogeología es muy importante la experiencia y la práctica de campo del intérprete, complementada con el conocimiento básico de aquellas disciplinas que se requiere para obtener información relacionada con la estructura geológica, litología y formas. Entre las más importantes se hallan las siguientes: Geomorfología, Geología estructural, Estratigrafía, Petrografía, Geología de campo y otras auxiliares como la Fotogrametría y la Cartografía.

La Geomorfología por definición es la ciencia que tiene por objeto el estudio de las formas de relieve, las describe, trata de explicar el origen de las mismas, estudia los procesos y agentes que han intervenido en el modelado de ellas, y por extensión y comparación estudia los procesos actuales que están actuando en la superficie terrestre, todo ello conduce a establecer la evolución de un paisaje así como las relaciones que pueden existir entre las rocas y la estructura geológica con las formas.

Se prefiere utilizar el termino GEOFORMA en lugar de FORMA para referirse a aquellas que son el resultado de la acción de los diversos agentes y procesos geomorfológicos.

En este sentido, la fotogeología a través de las geoformas puede llegar a obtener conclusiones muy importantes sobre las características geológicas de una zona, razón por la que es importante conocer las relaciones que existen entre la roca, estructura geológica, condiciones climáticas y las geoformas.

Geología estructural Una de las informaciones más importantesque se puede obtener de la fotografía aérea, es la relacionada con la geología estructural, cuyo propósito es estudiar las estructuras geológicas resultantes por efecto de las deformaciones que sufren las rocas posteriores a su formación.

Por lo tanto, las deformaciones ocurridas en la corteza terrestre que han dado lugar a diferentes tipos de estructura que se ajustan a los esfuerzos de deformación, tales como fallas, fracturas, diaclasas, lineamientos, esquistosidad, foliación, pliegues, pueden ser identificadas bajo ciertas condiciones con mayor facilidad en las fotografías aéreas o imágenes de satélite, que luego de una serie de consideraciones pueden conducir a la delineación e identificación de zonas favorables para la ocurrencia de yacimientos de minerales; a la presencia de estructuras favorables para la acumulación de petróleo; a conocer las condiciones bajo las cuales se construirán obras civiles de magnitud como presas, carreteras, ferrocarriles y en especial sirve de gran ayuda en la formulación de la historia estructural de una área.

Cuanto mayor sea el conocimiento que se tenga de esta disciplina, mayor será la información que se obtenga de una fografía aérea.

Estratigrafía El conocimiento de los principios básicos de la estratigrafía es fundamental en cualquier estudio fotogeológico porque permite establecer la secuencia estratigráfica y las relaciones estratigráficas de las rocas que afloran en un área, facilitando la interpretación estructural, especialmente en áreas donde existe mucho fallamiento acompañado de estratos disturbados y volcados, o áreas donde la presencia de la actividad ígnea afecta a series sedimentarias.

Por ello cuando se realiza la interpretación geológica de una determinada zona, es importante tener o tomar conocimiento previo de la secuencia estratigráfica de esa zona.

Petrografía Una de las tareas de la fotogeología, es la identificación de los diferentes tipos de roca que puedan realizarse en la fotografía aérea.

Para la identificación de las rocas en la fotografía es necesario tener un sólido conocimiento teórico sobre la clasificación y características de los diferentes tipos de roca, que debe ser complementado con la experiencia en el reconocimiento macroscópico de campo de las rocas.

Por estas razones es que el conocimiento de la petrografía, le da al fotogeólogo un marco referencial de las posibilidades reales del grado de certeza al que se puede llegar en la identificación de rocas en la fotografía aérea.

Geología de campo La experiencia obtenida en trabajos de geología de campo, constituyen una base fundamental en fotogeología, ya que ella permite tener mejores valores de juicio para integrar toda la información geológica contenida en la fotografía aérea.

Sin embargo es de suponer que un estudiante que se inicia en el aprendizaje de la fotogeología, sin que tenga experiencia en trabajos de geología de campo, a pesar de esa gran limitación puede aún obtener información geológica de la fotografía aérea a través de un trabajo más intenso y especulativo, pero que de todas maneras le sirve de base para ser complementada con la revisión de campo.

Fotogrametría El conocimiento elemental de esta disciplina es un auxiliar valioso en fotogeología, ya que los métodos fotogramétricos elementales le permiten encarar problemas relacionados con la confección de mapas planimétricos en especial, cuando ellos no existen para un área que está siendo estudiada.

De igual manera le permite al fotogeólogo aplicar su conocimiento en los cálculos que debe realizar cuando desea medir en las fotografías aéreas, secciones estratigráficas, calcular espesores de estratos, medir rechazos de fallas, apreciar valores de buzamiento de las rocas, realizar perfiles topográficos.

6.2.2 **Ventajas de la fotogeología en su aplicación al mapeo geológico regional y en la exploración de yacimientos minerales y de petróleo.-** Está comprobado que la aplicación de la fotogeología en especial al mapeo geológico regional, ofrece grandes ventajas en comparación con los métodos tradicionales de mapeo.

Entre las principales ventajas se pueden citar a las siguientes:

- El tiempo que toma en realizar el mapeo geológico de una determinada región utilizando fotografías aéreas, es casi un 90 % más rápido comparado con el método convencional de mapeo, el que necesariamente requiere que la zona sea recorrida en su totalidad para que el mapa geológico resultante tenga cierto grado de confiabilidad en la información que presenta.

  Por el contrario, si se utiliza fotografías aéreas para realizar el estudio fotogeológico de la misma zona, no necesariamente tendrá que recorrerse toda el área, ya que las fotografías permiten que el fotogeólogo pueda en un mínimo de tiempo, tener una visión rápida de las características geológicas de la zona, pudiendo planificar y definir las áreas que requieren de revisión en el terreno luego de haber confeccionado un mapa preliminar fotogeológico, que lo utiliza como un mapa geológico base, en el que se irá añadiendo y corrigiendo con datos colectados en aquellos puntos que fueron seleccionados para su revisión de campo.

Este método de trabajo utilizando fotografías aéreas, ahorra gran cantidad de tiempo de trabajo de campo.

- Los costos de operación tambien se reducen considerablemente, al disminuir el tiempo de permanencia en el campo de las brigadas encargadas de realizar el mapeo geológico.

- Zonas inaccesibles debido al relieve, vegetación densa o falta de vías de comunicación, pueden ser estudiadas mediante el uso de fotografías aéreas, obteniendo de esa manera información geológica importante, que no puede ser conseguida con los métodos convencionales, a menos que se invierta mucho tiempo, dinero y gran esfuerzo de las brigadas de campo y probablemente sea realizada con un mínimo de rendimiento.

- En los métodos convencionales de mapeo geológico, se requiere necesariamente de la ejecución de levantamientos topográficos, para suministrar los mapas topográficos que deben ser utilizados para la ubicación de los puntos geológicos descritos en el campo. Este procedimiento en el caso de trabajar con fotografías aéreas no es importante, ya que tanto fotografías aéreas o imágenes de satélite pueden ser empleadas para la confección de mapas planimétricos de suficiente precisión, utilizando para ello procedimientos fotogramétricos. Esto de manera directa reduce los trabajos topográficos y por ende baja los costos de operación en un proyecto, tanto en personal, equipo, instrumentos y tiempo.

- Bajo ciertas condiciones las fotográfías aéreas y las imágenes de satélite, pueden revelar las características geológicas de una región tales como los rasgos tectónicos superficiales en especial aquellos relacionados con la posición y dirección de los ejes anticlinales y sinclinales, identificación del cierre y hundimientos de los pliegues anticlinales; la ubicación y rumbo de fallas, fosas y pilares tectónicas (grabens y horsts), existencia y dirección de sistemas de diaclasamiento.

  Pueden también revelar las características y ubicación de diferentes tipos de rocas y en base a ello poder agruparlas en unidades formacionales, se puede apreciar la características de las rocas relacionadas con la resistencia mayor o menor a la erosión, además es posible identificar las caracteríscas de la estratificación, incluyendo rumbos y buzamientos, etc.

  Esto constituye una de las ventajas más sobresalientes de la fotogeología, ya que sin la ayuda de este método, se requeriría recorrer todo el terreno con gran consumo de tiempo.

- Con el uso de la fotografía aérea se tiene una visión más integral de las interrelaciones que existen entre la geología, drenaje, suelos, vegetación y geoformas, que permite en forma indirecta la posibilidad de mejorar la interpretación geológica, con una mayor acumulación de datos en la foto aérea, que no es posible obtener con los métodos convencionales de mapeo.

  La información complementaria que la fotografía aérea permite obtener apoyada en el análisis de los rasgos relacionados con suelo, vegetación, geoformas y drenaje, es otra ventaja que no puede dejar de ser considerada en cualquier tipo de estudio de exploración geológica que se realice, la cual es además directa e inmediata.

- Con el método tradicional de mapeo, una vez que el trabajo de campo ha sido terminado, las posibilidades de volver a revisar algún dato en el terreno, son en su generalidad mínimas, mientras que no ocurre lo mismo si el mapeo ha sido realizado utilizando fotografías aéreas,

porque ellas pueden ser consultadas en cualquier momento sin necesidad de trasladarse al campo.

- En proyectos de exploración mineral y de petróleos, la aplicación de las fotografías aéreas y el de imágenes de satélite, es imprescindible en la primera etapa, ya que por ejemplo en el caso de la exploración mineral, el estudio regional de rasgos lineales y el análisis de áreas de alteración es muy importante y ello sólo puede ser iniciado a través de las fotografías aéreas o de las imágenes de satélite.

6.2.3 **Limitaciones de la Fotogeología.-** Es importante dejar establecido que la fotogeología es una herramienta importante para realizar el mapeo geológico de una determinada región, pero ello tampoco significa, que se deba pensar que con la información obtenida de las fotografías aéreas, es suficiente y que el trabajo de campo debe ser obviado. Esto no es correcto, ya que necesariamente se debe realizar esa etapa de campo, que es imprescindible si realmente se quiere contar con información precisa y confiable.

De igual manera, pensar que sólo el trabajo de campo puede ser suficiente para los fines de un mapeo geológico, también es otro error que debe ser evitado, ya que tanto las fotografías aéreas como imágenes de satélite, dan cierta información geológica que no es posible obtenerla con solamente el trabajo de campo.

Otra limitación importante es la relacionada con la identificación y clasificación de los diferentes tipos de roca en las fotografías aéreas. Si bien es cierto que es posible identificar y diferenciar los tres grandes tipos de rocas (Igneas, sedimentarias y metamórficas) la identificación de las rocas de cada tipo es de carácter muy general en especial las que corresponden a las rocas ígneas y metamórficas.

En la fotografía aérea no se puede hablar de haber identificado por ejemplo una granodiorita, una sienita alcalina, una traquiandesita, o una dacita, ya que estos nombres fundamentalmente se hallan basados en su composición mineralógica y su textura, que en la fotografía aérea no pueden ser apreciadas, razón por la cual a veces se prefiere hablar de rocas ígneas ácidas y básicas, que en ciertos casos puede considerarse la posibilidad de clasificarlas como rocas graníticas, basálticas o de composición intermedia. Consideraciones parecidas se pueden hacer para los otros tipos de rocas, pero se prefiere hablar en más detalle en el capítulo pertinente de rocas.

También se puede considerar como otra limitación, a la cantidad relativamene baja de información que se puede obtener en áreas donde existe una cubierta muy densa de vegetación, aunque igual limitación ocurre con los métodos convencionales, en mayor grado.

6.2.4 **Clasificación de la Fotogeología.-** De acuerdo a la aplicación de la fotogeología para realizar una apreciación cualitativa o cuantitativa de la información contenida en la fotografía aérea, ella puede ser clasificada en Fotogeología Cuantitativa y Fotogeología Cualitativa.

La Fotogeología Cuantitativa se la define como aquella parte de la fotogeología que tiene por objeto realizar una serie de mediciones en los diferentes rasgos geológicos que se observan en la fotografía aérea con el propósito de determinar los valores de buzamiento de los estratos, cálculo de espesores de estratos, cantidad del rechazo de fallas, dimensiones de los cuerpos intrusivos, etc. Para realizar este tipo de mediciones se utilizan algunos instrumentos fotogramétricos simples y sencillos como

el estereomicrométro, el medidor de buzamientos, o instrumentos más sofisticados como el estereocord, descrito en el capítulo anterior.

La **Fotogeología cuantitativa** requiere necesariamente del conocimiento básico de la Fotogrametría, aunque ello no significa que las mediciones que se realizan corresponden a las de alta precisión, por el contrario son mediciones muy sencillas, y hasta cierto punto subjetivas, que con frecuencia varian de un observador a otro.

Por estas consideraciones, la fotogeología cuantitativa aunque corresponde a una parte de la fotogeología, es de muy poca utilidad en la interpretación misma de los rasgos geológicos en las fotografías aéreas.

La Fotogeología Cualitativa Es aquella parte de la fotogeología cuyo objetivo fundamental es obtener toda la información cualitativa relacionada con los rasgos y características geológicas observadas en las fotografías aéreas. Para este propósito el único instrumento que se requiere es el estereoscopio, que puede ser de espejos o de bolsillos.

De acuerdo a esta definición, el presente texto en los siguientes capítulos, presenta todas las consideraciones teóricas que permitan obtener el máximo de la información cualitativa mediante la interpretación de las fotografías aéreas.

6.3 CRITERIOS DE OBSERVACION FOTOGEOLOGICA

La interpretación geológica generalmente se la realiza en dos etapas. La primera comprende la observación de los elementos de reconocimiento o criterios de identificación, que conducen al proceso de colecta de hechos e identificación de los rasgos geológicos de la fotografía aérea.

La siguiente etapa corresponde al procesamiento mental de inducción y deducción de estos datos en términos de su significado geológico que ellas puedan tener.

Cuando se realiza la interpretación de fotografías aéreas aplicada a cualquier tipo de disciplina, generalmente se utiliza algunos elementos de reconocimiento de las imágenes fotográficas que constituyen los criterios básicos para la identificación de los rasgos en una fotografía aérea.

Sin embargo,dichos elementos de reconocimiento o criterios que se emplean en cualquier trabajo de interpretación, no tienen la misma significación e importancia cuando ellos son usados en fotogeología, es decir algunos de ellos son más útiles que otros en la identificación de los rasgos y características geológicas en la fotografía aérea.

Los principales **criterios de observación fotogeológica** o elementos de reconocimiento que el fotogeólogo emplea cuando interpreta fotografías aéreas son los siguientes:

1) Tono fotográfico y color

2) Textura fotográfica

3) Sombra

4) Diseño

5) Geoformas (Geomorfología)

6) Escala

7) Tamaño

8) Sitio

9) Vegetación

Los tres primeros criterios, corresponden a las características y condiciones inherentes de la propia fotografía aérea, y están relacionadas con las características físicas del registro de la información en función de la sensibilidad de la película blanco y negro, de las características físicas de la emulsión, del grano, de los compuestos de plata, etc.

Los restantes corresponden al grupo de criterios que se hallan íntimimamente relacionados con las formas, distribución y tamaños de los objetos registrados en la fotografía.

Como los criterios que se utilizan en fotogeología se hallan relacionados con las características que tiene un determinado grupo de rasgos del terreno, su registro en la fotografía aérea es función de varios factores naturales que no son constantes ni siempre los mismos, pero de un modo general ellos definen las condiciones que determinan y controlan los criterios listados arriba.

Los factores naturales que modifican y controlan los criterios anteriormente nombrados son los siguientes:

a) Condiciones climáticas

b) Tipo y densidad de la cubierta de vegetación

c) Tipo y espesor de la cubierta de suelos

d) Grado absoluto de la erosión

e) Grado relativo de la erosión entre los diversos tipos de roca

f) Composición mineralógica de las rocas, que determina el color y su registro en las fotografías aéreas.

g) Intensidad y profundidad de la meteorización, en función de las condiciones climáticas y de vegetación.

h) Tipo de estructura geológica predominante.

Estos factores naturales, que lógicamente por su naturaleza misma son en ciertos casos muy complejos y de poca homogeneidad, debido a sus condiciones poligenéticas, modifican y controlan los criterios anteriormente mencionados en diferentes grados y de acuerdo a la zona o área a estudiar.

Con seguridad estos factores son más numerosos que los enumerados, algunos de ellos son de carácter no geológico, y otros de caracter geológico, los que bajo ciertas condiciones definen el tipo de registro que deben tener las rocas, geoformas y estructuras en las fotografías aéreas, que serán muy diferentes de una región a otra, incluso tratándose por ejemplo del mismo tipo de roca.

Por estas consideraciones, a diferencia de otras disciplinas de la fotointerpretación, en fotogeología es dificil elaborar una **guía sistemática estandarizada de modelos** para ser aplicada en la identificación de los diferentes rasgos geológicos, como ocurre en la fotointerpretación militar o forestal, donde las formas de los objetos a identificar como clases de aviones, barcos, o tipos de bosque, serán siempre las mismas bajo cualquier tipo de condición.

En algunas disciplinas de la fotointerpretación, puede ser posible llegar a una rápida conclusión sobre la identificación de un objeto en base del análisis de sólo uno de los criterios o elementos de reconocimiento, sin que se requiera del análisis de los otros elementos, como en el caso de los ejemplos citados en la fotointerpretación militar o forestal, donde el elemento forma es el principal criterio de reconocimiento en el caso citado.

En fotogeología, es imposible llegar a conclusiones definitivas sobre los datos que se obtienen durante el proceso de interpretación, si es que no se ha realizado un análisis y evaluación de todos los elementos de reconocimiento o criterios de observación fotogeológica. Ningún tipo de roca puede ser identificado solamente en base a un solo criterio, por ejemplo el de tono. Se requiere siempre del análisis del resto de los criterios fotogeológicos.

Esta es una de las reglas más importantes que deben ser tomadas en cuenta en fotogeología.

6.3.1 **Tono fotográfico y color.-** Cuando se observa un paisaje, el ojo humano capta e identifica los objetos a través de dos tipos de sensaciones. Una expresada en diferencias de brillo y la otra en diferencias de color.

Estas diferencias de brillo y color, en la fotografía aérea, se traducen en el registro de una gama de tonos de gris con sus extremos blanco y negro, por lo tanto el tono fotográfico se refiere al color y al brillo relativo de los objetos que forman parte de una escena, expresada en los diferentes tonos de gris en la fotografía aérea.

Richard Ray (1960) define al Tono fotográfico como la medida de la cantidad relativa de luz reflejada por un objeto y registrada en la fotografía blanco y negro.

El tono fotográfico, es un criterio que puede ayudar en la identificación de los diferentes tipos de rocas, sedimentos, y suelos. Además en base a las diferencias tonales es posible separar y delinear los límites o contactos entre dos tipos diferentes de litología o formaciones geológicas.

Sin embargo las características tonales son siempre relativas porque existen varios factores que los afectan entre los que se puede citar:

1) Tiempo de exposición

2) Condiciones de la iluminación

3) Reflexión de la superficie fotográfiada

4) Tipo y sensibilidad de la película

5) Revelado

6) Papel fotográfico

7) Color del objeto fotografiado (Rocas)

8) Condiciones de humedad del terreno

9) Naturaleza de la roca fotografiada

10) Angulo de incidencia en la superficie del afloramiento rocoso

11) Textura del material registrado

Por esta razón es que existe alguna subjetividad cuando se pretende realizar la identificación de un tipo de roca, basándose solo en este criterio.

El tono en la fotografía aérea correspondiente a los diferentes tipos de roca está estrechamente relacionado con el color de la roca, que al mismo tiempo depende del color de sus componentes minerales. Sin embargo un mismo tipo de roca puede registrarse en diferentes tonos, dependiendo de las condiciones climáticas, intensidad y grado de meteorización, efecto de la erosión, contenido de la humedad, etc. Por ello el tono, como un criterio para la identificación de rocas, no puede ser usado en forma aislada o independiente, sino debe ser siempre utilizado con la ayuda de los otros criterios, en consecuencia resulta muy dificil e inutil aplicar una **escala o guía estandarizada de tonos fotográficos** que pueden ser empleadas en la identificación de los diferentes tipos de rocas.

Sin embargo existen algunos tipos de rocas y suelos que muestran un valor de tono constante. Ejemplos: arena suelta, dunas, evaporitas, nieve, que se registran en tonos blancos a claros, cuando la vegetación se halla ausente; los que también bajo algunas condiciones relacionadas al contenido de agua, humedad y permeabilidad de la roca, pueden sufrir modificaciones en su registro tonal.

Por lo tanto, el uso del criterio de tono en la fotointerpretación, está limitado a la evaluación de valores relativos entre los diferentes tonos fotográficos o contraste tonal, que permite efectuar la separación y delineación de los diversos tipos de litología, de una determinada zona.

Color Cuando se realiza la interpretación de fotografías aéreas a color, el criterio de tono, es reemplazado por el de **color**.

En ese caso el color, constituye uno de los criterios más útiles, a veces con mayor ventaja para el fotointérprete, ya que el ojo humano tiene la capacidad de identificar y diferenciar más de 1000 matices y tinte de colores, que las diferentes tonalidades de gris en la fotografía en blanco y negro; por lo tanto mayor posibilidad para incrementar la cantidad de información que se puede obtener con las fotografías aéreas a color, especialmente cuando se trata de identificar anomalías tonales, relacionadas con zonas de alteración hidrotermal, cuando se realiza trabajos de exploración de yacimientos minerales.

En algunos casos, la gran cantidad de matices de color que se observan en las fotografías, pueden provocar confusiones cuando se desea separar y diferenciar Formaciones geológicas. La gran variedad de matices de color, puede dar lugar a una diferenciación exagerada en la cantidad de unidades formacionales que se estaría identificando. Este error que puede ser cometido al realizar la diferenciación en formaciones, se debe a que un conjunto de rocas, que pertenecen a una sola formación, pueden mostrar una gran variedad de colores, que conducen a una equivocada división de la formación original en otras nuevas.

En la fotografía aérea blanco y negro, no ocurre esto, por lo que la definición de límites o contactos entre formaciones geológicas es más segura.

Una de las razones por las que el uso de la fotografía a color sea restringido, es el alto costo que tiene en comparación a la fotografía aérea blanco y negro.

6.3.1.1 **Características tonales de las rocas.-** De acuerdo a las consideraciones realizadas, se podría establecer que no existen reglas terminantes para la identificación de las rocas en base a criterios puramente tonales. A pesar de ello, es posible hacer algunas generalizaciones que son de valor en la interpretación geológica.

Estas generalizaciones se refieren únicamente a los valores tonales relativos de las imágenes fotográficas, que pueden ser aplicados con escasa precisión, a rocas con gran extensión de afloramiento sin mucha cubierta residual superficial y con ausencia de vegetación densa.

Entre las generalizaciones más importantes se pueden señalar a las siguientes:

a) Rocas de color obscuro se registran en la fotografía aérea en tonos obscuros

b) Rocas de color claro se registran en tonos claros

c) Rocas de grano fino se registran con tonos más obscuros que rocas de grano grueso, siempre que el color de ambas rocas en el terreno sea el mismo.

d) Materiales sueltos de textura gruesa se registran en tono claros

e) Rocas ígneas ácidas se registran en tonos claros.

f) Rocas ígneas básicas se registran en tonos obscuros.

g) Rocas o sedimentos, que tengan alto contenido de humedad, se registrarán en tonos más oscuros, que los que corresponderían a las mismas rocas con mínimo contenido de humedad.

h) Cuerpos de agua y otros objetos de alta reflejidad, se registran en tonos completamente diferentes y opuestos, incluso en la misma fotografía o en las contiguas dependiendo del ángulo de incidencia y de la hora de toma fotográfica.

Varios investigadores han tratado de agrupar a los diferentes tipos de rocas, sedimentos y otros materiales en grupos tonales que van desde los tonos blancos, grises al negro. Una de ellas es la realizada por H. Von Bandat (1962), que establece tres grupos de registro de tonos en los que se hallarían la mayoría de rocas, sedimentos y otros materiales. Ellos son:

Primer Grupo

Abarca desde tonos blancos a gris claros.

a) Cuerpos de aguas de alta reflejidad se registran en tonos blancos a claros. Pueden cambiar a tonos negros o gris obscuros de acuerdo a la posición del sol y la hora de la toma fotográfica. (Modelo estereoscópico 1).

b) Nieve en tonos blancos. (Modelo esteresocópico 2)

c) Bancos de arena y dunas móviles muestran tono gris claros. (Modelo estereoscópico 3). Cuando la vegetación se desarrolla sobre las dunas, el tono se vuelve gris.

d) Los depósitos granulares presentan generalmente tonos claros. (Modelos estereoscópicos 4 y 12)

e) Bancos de grava o textura gruesa asociados con depósitos de ríos se registran en tonos claros o blancos. (Modelo estereoscópico 5)

f) Evaporitas como yeso, sal se registran en tonos blancos y gris claros. (Modelo estereoscópico 6)

g) Morrenas laterales y terminales en tonos claros a gris claro. (Modelo estereoscópico 7)

g) Areniscas, cuarcitas, calizas de colores claros se registran en tonos gris claros. Calizas tonos gris claros.

h) Rocas ígneas intrusivas y extrusivas de composición ácida, generalmente muestran tonos gris claros a grises.

Segundo Grupo

Incluye tonos grises a gris intermedios. En este grupo, se pueden incluir algunas rocas mencionadas en el anterior grupo como las rocas ígneas de composición ácida, que también pueden registrarse en tonos grises a gris intermedio.

Algo similar sucede con algunas calizas y dolomitas de colores grises, gris obscuros.

Las rocas que se registran en los tonos de este grupo son las siguientes:

a) Areniscas de colores rojos, grises, cremas, en tonos gris a gris obscuro.

b) Lutitas y arcillas, entre tonos gris a gris obscuros.

c) Margas multicolores en tonos grises.

d) Rocas ígneas de composición intermedia en tonos gris obscuros.

Tercer Grupo

Este grupo incluye tonos de gris muy obscuros a negro.

a) Rocas ígneas intrusivas y extrusivas de composición básica y ultrabásica se registran en tonos gris muy obscuros a negros.

b) Capas de asfalto y vetas de carbón en tonos negros a gris obscuro.

6.3.1.2. **Anomalia Tonal.-** Es una variación local del tono fotográfico general registrado en una fotografía aérea. Generalmente la anomalía tonal puede ser de forma irregular, lineal, circular y discontínua en su extensión de registro en la fotografía aérea.

La anomalía tonal en ciertos casos sirve de gran ayuda al fotointérprete especialmente cuando se trabaja en áreas favorables para la ocurrencia de yacimientos minerales. Cuando las menas minerales, se hallan asociadas en superficie con zonas de alteración hidrotermal, generalmente ellas adquieren colores muy claros, en especial blancos que contrastan con el color original de la roca que no ha sido afectada por alteración hidrotermal. Estas áreas en las fotografías aéreas se registran en tonos blancos a claros de forma irregular y discontínua, que no muestran ninguna relación con el tono general de las rocas que afloran en el área.

En otros casos, cuando dos formaciones geológicas tienen características muy similares en el tono y en su expresión morfológica, resulta a veces muy difícil definir el contacto entre ellas. En esa situación, la presencia de anomalias tonales ubicadas en el contacto de estas formaciones, puede servir de gran ayuda para definir y delinear el indicado contacto. Como ejemplo se muestran los modelos estereoscópicos 8 y 9 y la foto 4.2 que corresponden a la región de Chayanta - Colquechaca (Bolivia), en los que se observa una faja de tonos blancos, ubicada en el contacto entre rocas de edad Ordovícica con rocas de la Formación Cancañiri de edad Silúrica, que permite definir y delinear el contacto entre las indicadas formaciones que afloran en esa región.

Además, puede ser para la zona, una importante guía mineralógica, ya que podría tratarse de alteración hidrotermal asociada a probable mineralización de antimonio - oro, existente en la zona. Por ello, en cualquier proyecto de exploración en la indicada región, deben considerar como áreas interesantes aquellas donde se presenta este tipo de anomalias tonales.

Bajo ciertas condiciones las anomalías tonales también pueden sugerir zonas de fallamiento. (Modelo estereoscópico 10)

La identificación de una anomalía tonal en la fotografía aérea, no es tarea fácil, requiere de práctica y experiencia y un conocimiento integral de las condiciones estructurales, estratigráficas, litológicas, para reconocer y diferenciarla de otros tonos que pueden ser confundidos por la similitud que pueden mostrar con una anomalía tonal.

6.3.2 **Textura fotográfica.-** El término textura fotográfica, que se utiliza para definir al segundo criterio de observación fotogeológica, es utilizado en un sentido diferente al que se emplea en petrología, que se refiere al tamaño de los granos que componen una roca.

La acepción genérica del término textura, se halla relacionada con la disposición o arreglo que tienen las partículas de un determinado cuerpo. Esta definición se la aplica por extensión a las fotografías aéreas, y en este caso se refiere a la apariencia a veces compleja que muestran ciertos rasgos tan diminutos que en la fotografía aérea no pueden ser individualizados e identificados aisladamente y que son de gran ayuda especialmente en la primera aproximación para la identificación de los diferentes tipos de roca.

En este caso la textura fotográfica por lo general es descrita como textura áspera, rugosa, suave, moteada, media. Es necesario hacer notar que el término textura y los calificativos nombrados anteriormente, pueden también ser usados cuando se refieren a la distribución de la vegetación, bosques o suelos, usando los mismos calificativos aunque el significado en su interpretación sea otro.

La textura moteada,puede ser debida a varias causas entre las que se pueden citar las siguientes:

- Cambios en la porosidad, humedad y contenido orgánico de la roca.

- Presencia de arcillas, con alto contenido de agua, niveles permeables, asociados a depósitos lacustres, glacifuviales, en áreas periglaciares.

- En áreas de calizas, asociada a regiones de clima templado húmedo y tropical, donde el efecto de disolución es importante, se desarrolla un paisaje asociado con dolinas, en el que las arcillas residuales se concentran en los hoyos de las dolinas que se registran en tonos obscuros que contrastan con los tonos claros de la caliza, producen una textura moteada.

- Lavas basálticas, con marcado diaclasamiento hexagonal o columnar, con diferencias en meteorización entre los bordes de las diaclasas y la roca, producen esta textura.

Por lo tanto, la textura moteada, da una información parcial que necesariamente requiere del análisis de los otros criterios para llegar a una conclusión definitiva sobre lo que se está interpretando en la fotografía aérea.

La textura fotográfica tiene una estrecha relación con la compacidad, porosidad, permeabilidad, dureza, grado de erosión, intensidad, grado de meteorización y textura de la roca.

La textura fotográfica tiene como un elemento fundamental al tono fotográfico, sin embargo las variaciones tonales producidas por las condiciones fotográficas, afectarán muy ligeramente a la textura fotográfica, permitiendo que la textura siga siendo un criterio o elemento importante de reconocimiento.

Un factor que afecta a la textura fotográfica es la escala de la fotografía, que la hace variar determinando que un tipo de textura, pueda ser mejor apreciada a una escala grande que a una escala pequeña.

Collwell R. N. en 1952, define a la **textura fotográfica como a la frecuencia de cambio tonal por unidad de superficie fotográfica**.

A objeto de precisar los conceptos y calificativos que se utilizarán en el texto, para describir las texturas fotográficas correspondientes a algunos tipos de rocas y sedimentos se presentan algunos ejemplos con los modelos estereoscópicos del texto. (Cuadro 6.1)

CUADRO 6.1

N° Modelo	Textura Fotográfica	Observaciones
11	Rugosa - Aspera	Rocas textura gruesa (Igneas? - Areniscas?)
12	Aspera en "A"	Rocas textura gruesa (Areniscas)
	Suave en "B"	Sedimentos poco consolidados (Gravas - arenas - arcillas)
13	Aspera "A"	Rocas textura gruesa (Areniscas ? Lavas ?)

CUADRO 6.1

N° Modelo	Textura Fotográfica	Observaciones
14	Aspera "A"	Rocas textura gruesa (Areniscas ? Igneas ?)
15	Aspera "A"	Rocas textura gruesa (Igneas? Areniscas?)
16	Suave "A"	Rocas Textura fina (Lutitas ? - Arcilla ?)
17	Suave "A"	Rocas Textura fina (Lutitas - Arcilla)
18	Suave "A"	Rocas Textura fina (Lutitas - Arcilla)
19	Suave "A"	Rocas Textura fina (Lutitas - Arcilla)
20	Intermedia "A"	Calizas
	Intermedia "B"	Rocas textura intermedia
21	Intermedia "A"	Calizas
22	Moteada	Pseudo Kárst Depósitos arcillosos con alto contenido de agua, niveles permeables y yesos?
23	Aspera	En este caso la textura fotográfica observada corresponde a la producida por la vegetación.

6.3.3 **Sombra.-** En la identificación de los objetos registrados en una fotografía aérea, la sombra constituye uno de los criterios más importantes, especialmente cuando se trata de aplicarla en la interpretación forestal o en la militar, cuando se trata de identificar tipos de vegetación u objetos de interés militar.

En fotogeología y geomorfología, es de gran ayuda en la identificación de los diferentes paisajes, y especial de áreas donde por efectos de procesos de remoción en masa, fallamiento o intensa erosión se desarrollan escarpes, que pueden ser identificados con mayor facilidad gracias a los efectos de sombra que acentuan las irregularidades del terreno.

Por esta razón, se recomienda que al observar un par de fotografías con el estereoscopio, ellas deben ser orientadas de manera que las sombras caigan hacia el observador, acentuando de ese modo el relieve. La incorrecta orientación de las fotografías aéreas, con relación a las sombras, puede producir un efecto por el cual el relieve parece invertirse, similar al que ocurre por pseudoscopía, al orientar el par estereoscópico de las fotografías aéreas en forma invertida.

6.3.4 **Escala.-** La escala es otro criterio muy importante en fotogeología, ya que el tipo de información geológica que se obtiene y la aplicación de la misma, es una función de la escala de las fotografías aéreas y de las imágenes de satélite.

En otros términos, la escala define la clase y cantidad de información geológica que se puede obtener de una fotografía aérea. Por ello la selección de la escala debe ser cuidadosamente estudiada, cuando se realiza algún estudio fotogeológico aplicado ya sea a la exploración de yacimientos de minerales, exploración petrolera, mapeo geológico regional, estudios geotécnicos como ubicación de presas y áreas de embalse, diseño de carreteras, ferrocarriles, etc.

Cada uno de estos estudios, requiere del uso de fotografías aéreas de diferentes escalas, ya que en un estudio para la elección de un sitio de una presa, será importante por ejemplo identificar la clase, cantidad y orientación del diaclasamiento, fracturación y fallamiento. Para ello se requiere fotografías aéreas a escalas mayores que las que se utilizarían para realizar un mapeo geológico regional, en el que a menudo es importante incluso acudir a imágenes de satélites, con el propósito de identificar las características estructurales regionales de la zona estudiada.

En el capitulo III, subtítulo 3.6 se presentan algunas consideraciones sobre las escalas que se utilizan para realizar trabajos de interpretación, que también corresponden a los utilizados en fotogeología.

6.3.5 **Tamaño.-** En la identificación de los objetos, el tamaño es un criterio importante, por la relación que se puede establecer cuando se comparan objetos diferentes en una fotografía aérea. El tamaño le sirve de guía al fotointérprete, para tener una noción o relación de la escala y la resolución de la imagen.

En fotogeología, es importante porque permite tener una apreciación de algunos rasgos geológicos, que pueden ser medidos o cuantificados, especialmente cuando se trata de establecer el espesor de estratos, o identificar algunas geoformas que luego pueden ser calculadas en relación a su volumen o área. Tal vez una aplicación más efectiva de este criterio, se halla con la medición de datos geológicos, los que se hallan más relacionados con la fotogeología cuantitativa.

6.3.6 **Sitio.-** La ubicación de un rasgo del terreno en relación a la de otros rasgos en un determinado tipo de paisaje registrado en una fotografía aérea, es de gran ayuda en fotogeología, ya que ella puede servir de guía, para llegar a cierto tipo de conclusiones, que luego pueden ser comprobadas por la interpretación de las fotografías aéreas y su posterior revisión de campo.

Por ejemplo, si se observa un paisaje que se halla integrado por un relieve plano horizontal, continuado por varios quiebres de taludes con diferentes inclinaciones y coronada por una superficie plana, tipo meseta, cada una de ellas constituye un sitio, en el que se pueden inferir las características propias de cada una de ellas con relación a la erosión, deposición, grado de meteorización, infiltración, etc. La importancia relativa de cada uno de estas características variará con las condiciones locales. Esto significa que en fotogeología, es también importante realizar un análisis de las características del sitio, porque constituye una guía más, para extraer información sobre los rasgos geológicos.

6.3.7 **Vegetación.-** Otro criterio que sirve de apoyo en el análisis fotogeológico, es la vegetación. En algunos casos, diferencias ligeras en la distribución de la vegetación, puede sugerir cambios en la distribución de las rocas asociadas a ellas.

En otros casos, los procesos geológicos pueden concentrar elementos trazas en determinados estratos, que al ser removidos por efectos de la meteorización, son luego absorbidos por algunas raices de plantas, dando lugar a concentraciones anómalas, que se traducen en algún tipo de anomalía en la distribución de la vegetación, o en las características mismas de la vegetación, factibles de detectarla en la fotografía aérea, lo que indirectamente son guías mineralógicas importantes en la exploración de yacimientos minerales. En este caso, sería más apropiado utilizar fotografías aéreas a color, debido a que los cambios de color de la vegetación son tan sutiles, que podrían ser apreciados incluso con dificultad en este tipo de fotografías.

Tal vez, una de las principales ayudas de este criterio, se halla relacionada con los diseños de vegetación como indicadores de variaciones en la litología, o en la relación que puede existir entre un tipo específico de vegetación, que bajo ciertas condiciones puede tener una significación local por su asociación o preferencia con algún tipo de roca.

CRITERIOS DE OBSERVACION FOTOGEOLOGICA (II) DISEÑO

CAPITULO VII

7.1 DISEÑO

El diseño es el arreglo espacial y ordenamiento vectorial de fenómenos geológicos, topográficos, morfológicos, tonales, de drenaje y botánicos, cuyas formas individuales o de conjunto que son repetitivas, pueden ser identificadas en la fotografía aérea.

Este criterio es muy utilizado en fotogeología, cuando se desea obtener información relacionada con las características litológicas y estructurales contenidas en una fotografía aérea. Para ello, dos son los principales diseños utilizados para este propósito y ellos son:

a) Diseño de Tono

b) Diseño de Drenaje

Un tercer diseño que bajo ciertas condiciones, puede ayudar al fotogeólogo, es el diseño de Vegetación.

7.2 DISEÑO DE TONO

Este diseño se halla directamente relacionado con la expresión tonal y la textura fotográfica de los diferentes tipos de rocas, suelos y sedimentos, que bajo algún control debido ya sea a la estratificación en el caso de las rocas sedimentarias, al diaclasamiento de las rocas ígneas, a la esquistosidad o foliación de las rocas metamórficas, al color de las rocas, a la extensión de afloramiento, a los efectos de la meteorización y erosión; adoptan ciertos arreglos tonales o diseños muy característicos que son de gran ayuda para el fotogeólogo.

7.2.1 **Tipos de diseños de tono .-** Entre los principales diseños de tono que pueden ayudar en la identificación de los diferentes tipos de roca, se encuentran los siguientes:

a) Oval, elipsoidal, arriñonado

b) Bandeado

c) Nebuloso

7.2.1.1 **Diseño de tono oval, elipsoidal, arriñonado.-** Este diseño sugiere al fotogeólogo la presencia de rocas sedimentarias, con estratificación horizontal o buzamientos muy bajos. (0^{o}- 5^{o})

En este diseño, los tonos fotográficos adoptan una apariencia muy similar a las curvas de nivel de un mapa topográfico, cuando ellas están cerradas y muestran formas ovoidales, elipsoidales, arriñonadas, circulares, etc. en su diseño.

Debido a la variedad de formas que puede adoptar este diseño, resulta difícil asignarle un nombre que sea el representativo de lo que se quiere significar con él, por ello se prefiere utilizar en forma conjunta los términos oval, arriñonado, elipsoidal, que de manera más objetiva, permiten captar el significado de este diseño.

Es importante señalar que el indicado diseño, se debe fundamentalmente a la alternancia de rocas que tienen diferentes composiciones, colores, texturas, resistencia variable a la erosión y estratificación horizontal en especial, cuyos tonos fotográficos muestran un fuerte contraste tonal, que facilitan su identificación en la fotografía aérea.

Cuando dicha alternancia de rocas es muy marcada y además la estratificación es fina, este diseño de tono mostrará un bandeamiento fuerte, debido a la variedad de tonos de gris y blanco en que se registran los diferentes tipos de roca. En este caso la identificación del diseño en la fotografía aérea se la realiza sin dificultad. (Modelo estereoscópico 24)

Por el contrario, si las rocas de la alternancia son uniformes en el color y en sus caracteristicas litológicas, la identificación del diseño y por ende de la estratificación horizontal, es más difícil de realizarla, porque en este caso el registro de los tonos es uniforme y no muestra el marcado contraste tonal del caso anterior. (Modelos estereoscópicos 25, 26 y 27)

Es necesario hacer notar que este diseño, puede ser confundido con el que se produce en aquellas áreas donde existen cultivos realizados mediante el sistema de siembra en contorno o en terrazas, que consiste en disponer las hileras de siembra en forma transversal a la pendiente del terreno en forma de curvas de nivel o líneas de contorno. Sin embargo por la extensión local, regular y uniforme de estos cultivos, puede ser diferenciado del diseño producido por la alternancia de rocas con estratificación horizontal.

7.2.1.2 **Diseño de tono bandeado .-** Se ha denominado con este nombre, para referirse a aquel diseño constituido por una variedad de tonos de gris, incluyendo el blanco y negro, que se hallan arreglados o distribuidos en forma de fajas paralelas que cruzan la fotografía, dando al conjunto un aspecto bandeado. (Modelo estereoscópico 28 y 29)

Este diseño sugiere la presencia de una alternancia de rocas sedimentarias, bien estratificadas con valores de buzamiento variables, de características litológicas y colores diferentes, como el caso de una alternancia de areniscas, lutitas y calizas, que al registrarse en diferentes tonos de gris y debido

al marcado contraste tonal, muestra un bandeamiento tonal de fácil identificación en la fotografía aérea.

En base a lo anteriormente dicho, y de acuerdo a las características de las rocas sedimentarias, buzamiento, color de las rocas, espesor de los estratos, se puede establecer las siguientes generalizaciones:

1.- Cuando el diseño de tono muestra un bandeamiento fino y una marcada alternancia de tonos diferentes de gris, incluyendo el blanco y el negro, (Modelos estereoscópicos 28 - 29 y 30) sugiere lo siguiente:

   a) Presencia de una alternancia de diferentes tipos de rocas sedimentarias.

   b) Valores altos del buzamiento de los estratos. (Mayores a 45^{o})

   c) El rumbo de los estratos, es paralelo al bandeamiento.

2.- Si el bandeamiento es fino, pero muestra uniformidad en los tonos y a pesar de ello se puede distinguir el diseño bandeado, el tipo de roca predominante es uno solo, del mismo color y con buzamiento mayores a 45^{o} (Modelos estereoscópicos 31, 32 y 33)

3.- Si la alternancia de las rocas es heterogénea y los buzamientos de los estratos son menores a los 45^{o} y coinciden con la inclinación y dirección de las pendientes del relieve, (Dip slope o Pendiente estructural), los planos de estratificación, además de tomar formas triangulares por efecto de la erosión diferencial, tendrán mayor área de exposición en sus afloramientos, de manera que el ancho de las fajas o bandas de tonos registradas será mayor, por lo tanto el bandeamiento tonal no podrá ser apreciado con facilidad, como ocurre con los casos anteriores. (Modelos estereoscópicos 4 - 20 - 21 - 25 y 35)

4.- Si las diferentes rocas de la alternancia, tienen colores muy similares y se hallan cubiertas por vegetación natural con variaciones muy ligeras, los tonos fotográficos también serán homogéneos, el aspecto bandeado variará de acuerdo a los valores de buzamiento y su identificación se realizará con relativa facilidad, ya que la vegetación se hallará alineada con la estratificación, remarcando de esa manera el diseño de tono bandeado. (Modelos estereoscópicos 23, 33, 34, 36, 37, 38 y 39)

5.- Si la extensión de afloramiento de uno o dos tipos de roca cubren una sóla fotografía aérea, será muy difícil asimilar la disposición de los tonos registrados en esa foto con el diseño bandeado que se ejemplifica con los modelos estereoscópicos que se indican anteriormente. En este caso la determinación del rumbo y buzamiento puede ser identificada acudiendo a otros criterios como orientación del drenaje, presencia de estratos más resistentes a la erosión que desarrollen dip slopes. (Modelos estereoscópicos 16-17-18 y 40)

7.2.1.3 **Diseño de tono nebuloso.-** Este tipo de diseño es muy particular y limitado sólo para aquellas áreas donde los efectos de la acción de la glaciación continental han sido intensos, habiendo desarrollado extensas llanuras de till, constituidas por una mezcla de material muy heterogéneo, asociado a un paisaje de hoyos y lomadas, con un mínimo de relieve, que da lugar a diferencias en humedad y textura, de manera que su registro en la fotografía aérea, se traduce en manchas de tonos blancos y gris obscuros, que le dan al diseño de tono una apariencia nubosa.

7.3 DISEÑO DE DRENAJE

Es el arreglo espacial y ordenamiento vectorial de una o varias corrientes, que se hallan ajustadas ya sea a un control estructural, litológico o morfológico, cuyo registro en la fotografía aérea, permite obtener información importante relacionada con las características litológicas, estructurales y geomórficas de una determinada región.

El análisis de drenaje es un criterio muy utilizado en fotogeología, especialmente para aquellas áreas donde el relieve es bajo, casi plano u ondulado con diferencias muy ligeras en el relieve o en regiones donde la cubierta vegetal es densa.

Bajo ese tipo de condiciones, es muy difícil que los afloramientos de roca puedan ser identificados en la fotografía aérea, en ese caso una de las principales fuentes de información es el análisis del drenaje de la zona.

En regiones áridas y semiáridas, a pesar de la gran extensión de los afloramientos de las rocas, que ofrecen condiciones inmejorables para obtener información geológica, es también importante, realizar el análisis de drenaje ya que puede ayudar a mejorar y aumentar la información sobre el tipo de roca, estructura o fallamiento de la zona estudiada.

7.3.1 **Clasificación del diseño de drenaje .-** Para realizar un análisis correcto del drenaje es conveniente utilizar una de las varias clasificaciones de los diseños de drenaje existentes para este propósito. Las clasificaciones más utilizadas en fotogeología se basan en la clasificación dada por Zernitz E.R. (1932) y aunque cada una de ellas agrupa a los diversos diseños desde puntos de vista y objetivos diferentes, los nombres individuales de cada diseño, se mantienen siempre los mismos. Entre las formas de agrupar o clasificar a los diseños de drenaje, se pueden nombrar las clasificaciones utilizadas por R. Lueder (1959), H. Th Verstappen (1963) y A. D. Howard (1967).

R. Lueder (op.cit) para realizar el análisis de drenaje, agrupa a los diseños de drenaje de acuerdo a la manera en que ellos se han desarrollado. Distingue entre diseños de drenaje que han sido creados solo debido a procesos de erosión y aquellos diseños cuyo desarrollo han sido modificados por procesos de deposición o de acumulación fluvial.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto podemos hablar de dos tipos de drenaje:

a) Drenaje de tipo Construccional o de Deposición.

b) Drenaje de tipo Destruccional o de Erosión.

a) Drenaje Construccional o de Deposición Es un drenaje que se desarrolla en el propio material transportado y depositado por los mismos ríos como en el caso de deltas, abanicos, llanuras aluviales. Este drenaje se halla asociado con depósitos sedimentarios sin consolidar y generalmente confinadas a áreas pequeñas en extensión.

Entre los diseños de drenaje que corresponden a este grupo se hallan los siguientes:

- Diseño de drenaje Trenzado
- Diseño de drenaje Anárquico

- Diseño de drenaje Meándrico o Anastomasado
- Diseño de drenaje Dicotómico

b)Drenaje Destruccional o Erosional Este drenaje, también llamado normal, es desarrollado por la acción erosiva sobre rocas o material consolidado y se caracteriza por ser un drenaje que ocupa áreas extensas, y su desarrollo se halla sujeto ya sea al control de la estructura geológica, a las características litológicas y geomorfológicas, razón por la cual puede ser también explicado en función de su génesis y descrito con términos geomorfológicos tales como Consecuente - Resecuente - Subsecuente, Insecuente, etc.

Los diseños de drenaje que corresponden a este grupo son los siguientes:

- Diseño de drenaje Dendrítico
- Diseño de drenaje Parrilla o Trellis
- Diseño de drenaje Rectangular
- Diseño de drenaje Radial
- Diseño de drenaje Anular

Los diseños que pertenecen a este grupo pueden también ser descritos en función de las características del conjunto de ríos que integran un diseño de drenaje tales como el grado de integración, grado de uniformidad, densidad de drenaje, orientación, grado de control, angularidad y ángulo de junta.

H. Th Verstappen (op.cit), considera dos factores para agrupar los diferentes diseños de drenaje. El primer factor está relacionado con el relieve del terreno sobre el cual se desarrollan los diferentes diseños, que puede corresponder a terrenos montañosos o a tierras bajas o áreas planas.

El segundo factor está relacionado con el tipo de control geológico estructural que puede o nó ejercer sobre el desarrollo de los diseños en áreas de relieve montañoso.

En el cuadro 7.1 se presenta la clasificación de los diseños de drenaje según H. Th. Verstappen.(op.cit)

CUADRO 7.1

CLASIFICACION DE LOS DISEÑOS DE DRENAJE

AREAS PLANAS	**AREAS MONTAÑOSAS Y DE SERRANIAS**	
	Sin Control Estructural	**Controladas estructuralmente**
Anastomasado o Meándrico	Dendrítico	Anular
Yazoo	Sub-Dendrítico	Trellis-Parrilla
Dicotómico	Sub-Paralela	Angular
Trenzado	Paralela	Rectangular
Reticular	Radial	Contorsionado

A. D. Howard(op.cit) clasifica los diseños de drenaje en base a los realizados por Zernitz (1932) y Parvis (1950) y los subdivide en Diseños de drenaje Básicos y Básicos modificados, añadiendo a ellos las variedades de diseño, los diseños complejos, los diseños compuestos y los diseños palimpsesta.

Los diseños de drenaje básicos son aquellos diseños cuyas características mayores son fácilmente reconocibles y diferenciables de los otros diseños básicos. Los diseños básicos son los siguientes:

- Diseño de drenaje Dendrítico
- Diseño de drenaje Trellis o Parrilla
- Diseño de drenaje Paralelo
- Diseño de drenaje Rectangular
- Diseño de drenaje Radial
- Diseño de drenaje Anular
- Diseño de drenaje Múltiple de cuenca
- Diseño de drenaje Contorsionado

Los diseños básicos modificados, difieren de los básicos, en algún aspecto regional, asi como el espaciamiento denso y paralelo de los ríos tributarios en el diseño dendrítico pinado o de pluma, o la orientación preferencial de los ríos tributarios más largos en un diseño Parrilla direccional. Los diseños básicos modificados más comunes son los siguientes:

Modificaciones del diseño de drenaje Dendrítico

- Diseño de drenaje Subdendrítico
- Diseño de drenaje Pinado o de Pluma
- Diseño de drenaje Meándrico
- Diseño de drenaje Dicotómico o Distributivo

Modificaciones del Diseño de drenaje Paralelo

- Diseño de drenaje Subparalelo
- Diseño de drenaje Colinear

Modificaciones del Diseño de drenaje Trellis o Parrilla

- Diseño de drenaje Subtrellis
- Diseño de drenaje Trellis direccional
- Diseño de drenaje Trellis recurvado

- Diseño de drenaje Trellis de falla
- Diseño de drenaje Trellis de diaclasamiento

Modificaciones del Diseño de drenaje Rectangular

- Diseño de drenaje Angular

Modificaciones del Diseño de drenaje Radial

- Diseño de drenaje Centripetal

Modificaciones del Diseño de drenaje Multicuenca

a) Asociado a regiones:

- Glacialmente disturbadas
- Karst
- Termokarst

Las **Variedades de diseños**, difieren de los diseños básicos y básicos modificados en algunos detalles particulares, que son muy útiles por la información geológica que suministran, entre ellas se puede mencionar las variaciones o los contrastes que pueden existir en la densidad de drenaje entre diseños del mismo tipo. Por ejemplo un diseño dendrítico desarrollado en lutitas comparado con otro dendrítico en areniscas, tendrán el mismo modelo de diseño, pero habrá una variación en sus densidades de drenaje.

Los términos drenaje complejo, compuesto y palimsesta, son utilizados para los siguientes casos:

El drenaje complejo para referirse a aquel drenaje integrado por diseños diferentes que reflejan condiciones estructurales diferentes en áreas colindantes. En algunos casos puede ser usado en un sentido similar al de anomalía de drenaje.

El drenaje compuesto, como su nombre lo indica se refiere a la existencia de dos o más diseños diferentes pero contemporáneos en un misma área, como el diseño de drenaje radial y centripetal que puede desarrollarse en un cono volcánico, o en estructuras dómicas.

El drenaje palimsesta denominado por Howard, es un drenaje antiguo, que ha sido abandonado y sobre el cual se ha desarrollado el drenaje actual.

7.3.2 **Características del drenaje.-** Antes de realizar la descripción detallada de cada diseño de drenaje, es conveniente enumerar y definir las características del conjunto de ríos que integran un drenaje mediante las cuales es posible dar información complementaria a la que se puede obtener luego de haber identificado un determinado diseño de drenaje.

Por lo tanto cada diseño de drenaje puede ser descrito en términos de sus principales características, y ellas son:

a) Grado de Integración.

b) Grado de Uniformidad.

c) Densidad.

d) Orientación.

e) Grado de Control

f) Angularidad

g) Angulo de Junta

Estos términos son generalmente aplicables a la descripción del drenaje de tipo destruccional, siendo de poco significado cuando son usados para la descripción de drenaje de tipo construccional.

7.3.2.1 **Grado de Integración.-** Cuando se analiza un conjunto de ríos, se puede observar que los tributarios más pequeños se hallan unidos a los tributarios mayores y así sucesivamente hasta llegar al río troncal principal, existiendo entre ellos una armonía que permite deducir con facilidad la dirección en que corre todo el sistema de ríos. (Fig. 7.1).

A este grado de unidad y armonía que muestra un conjunto de ríos se denomina Grado de Integración. La figura 7.1 y los modelos estereoscópicos 16 y 17 son ejemplos de un drenaje con un alto grado de integración o buena integración.

Por el contrario, un drenaje mal integrado se caracteriza porque los ríos se hallan desarticulados, no muestran armonía ni unidad y no es posible predecir la dirección en la que corren los ríos del sistema. (Figura 7.2)

De acuerdo a este concepto, se puede establecer que el grado de integración dá información sobre el grado de erodabilidad, textura, permeabilidad y uniformidad de las rocas además hace posible la delineación de áreas de características comunes.

De manera relativa, el grado de integración puede ayudar a obtener conclusiones relacionadas con el relieve y edad del paisaje. Un drenaje mal integrado, sugiere un relieve relativamente plano en que las condiciones de erosión no han sido aún muy activas, generalmente se hallan asociadas con áreas en las que han actuado procesos recientes de glaciación, procesos asociados con formación de llanura de costa, etc.

Un drenaje bien integrado, por el contrario sugiere que la acción de la erosión ha empezado a actuar, de manera que los efectos de profundización de los ríos, está dando lugar a que ellos vayan constituyendo una red homogénea de drenaje, caracterizada por la comunicación clara entre ríos tributarios y principales.

7.3.2.2 **Grado de Uniformidad.-** Este concepto se halla relacionado con la apariencia que muestra el drenaje en un área determinada, es decir que el arreglo del conjunto de ríos tenga una homogeneidad en sus formas y distribución de manera que sea similar en toda el área observada en

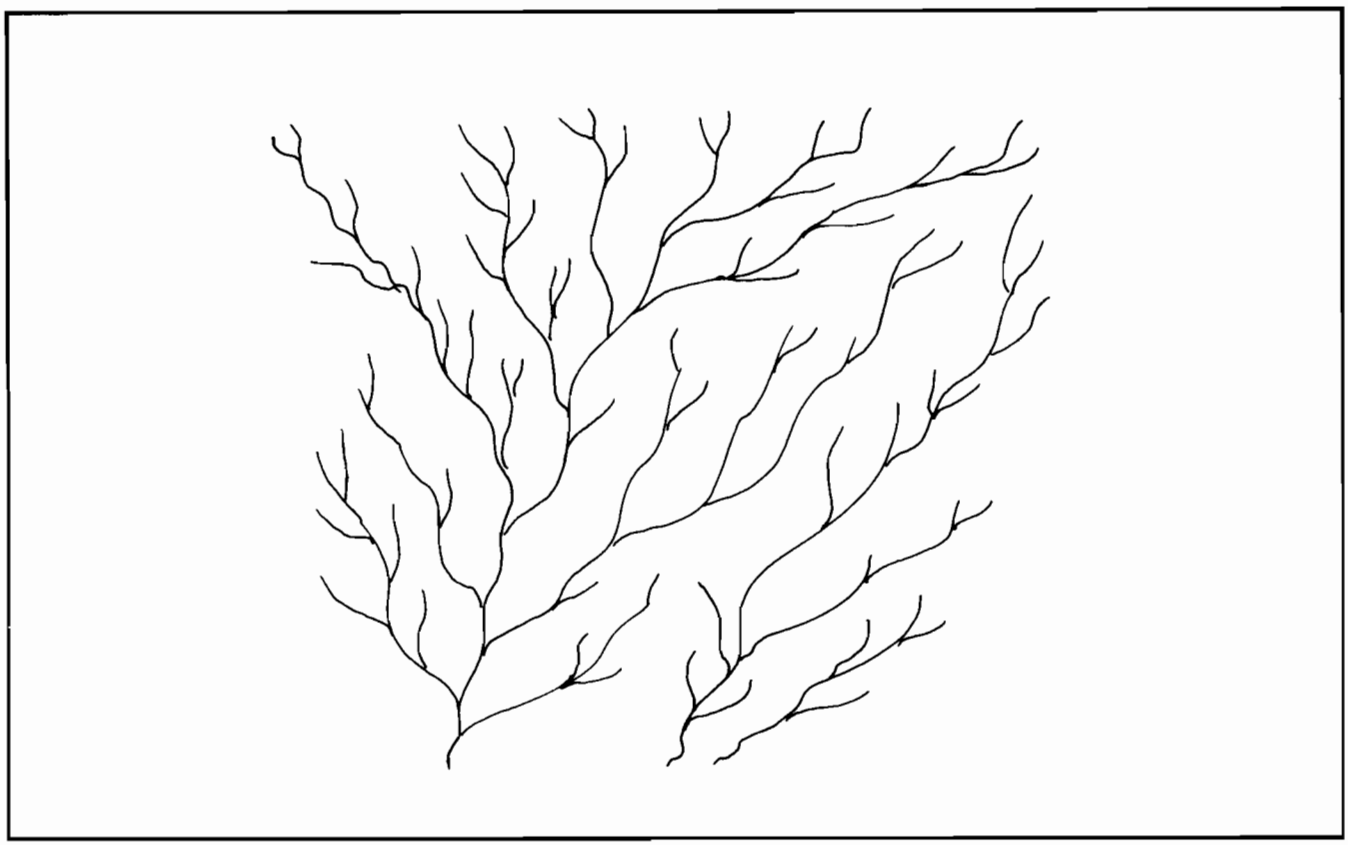


FIGURA 7.1 Características del drenaje: Drenaje bien integrado o de alta integración. Uniformidad de drenaje - Densidad de drenaje media - Sin.control.

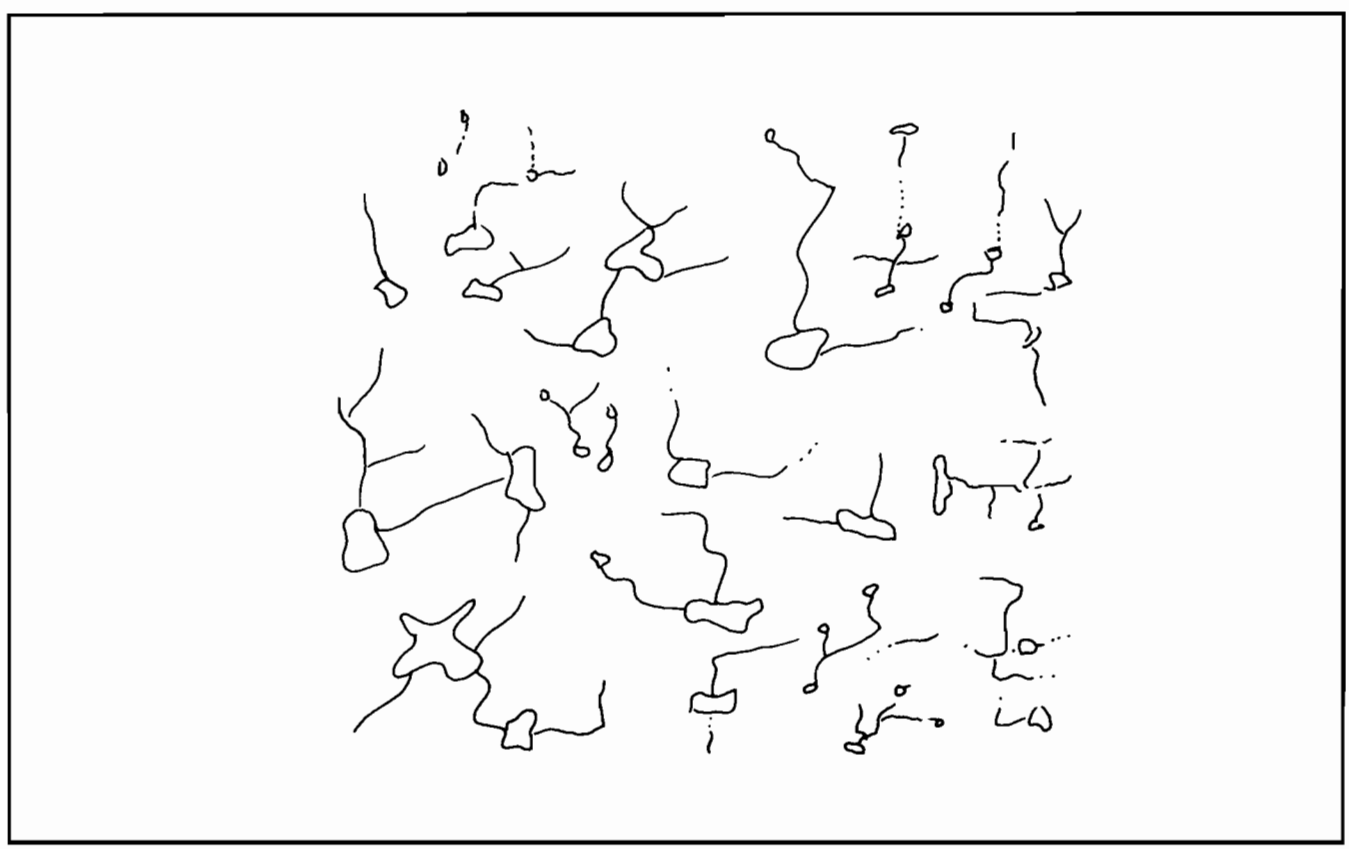


FIGURA 7.2 Características del drenaje: Drenaje mal integrado o de integración baja. Uniformidad de drenaje - Densidad de drenaje baja - Drenaje no orientado - Sin control.

una fotografía aérea. Por lo tanto, significa que la apreciación de la Uniformidad de drenaje es relativa y se halla en función de la extensión del área y la escala de la fotografía aérea en la que se registra.

Se puede hablar de un drenaje Uniforme como un todo o No Uniforme que se caracteriza por presentar áreas cuyos subdiseños individuales son diferentes a aquellos de otras áreas. Las figuras 7.1 y 7.2 y el modelo estereoscópico 17 muestra ejemplos de áreas con drenaje uniforme.

La figura 7.3 y los modelos estereoscópicos 16, 26 y 41 corresponden a áreas no uniformes o de uniformidad diferente.

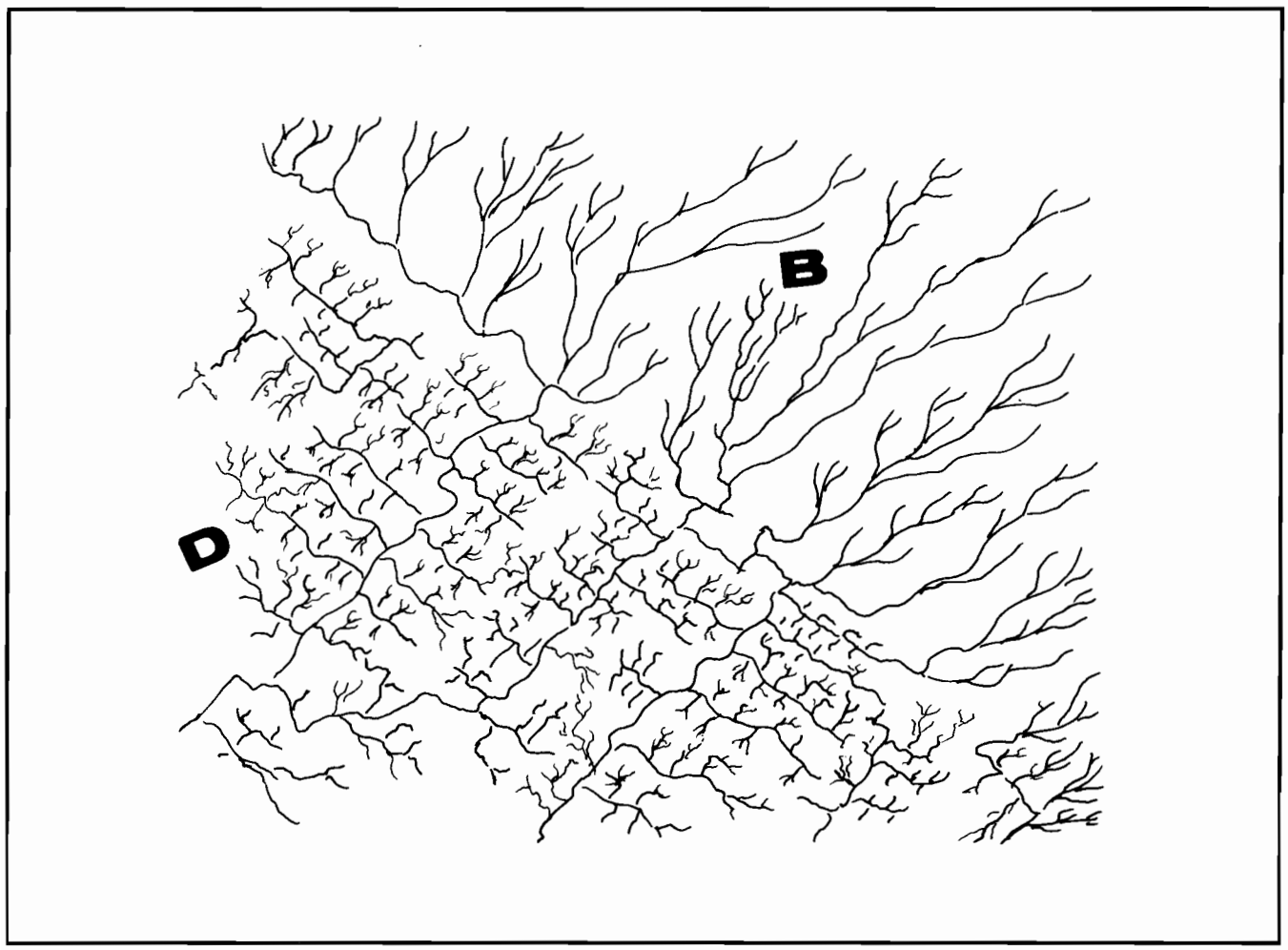


FIGURA 7.3 Grado de Uniformidad. Area de variedad de uniformidad en B y D.

La figura 7.22 corresponde al drenaje de parte del territorio boliviano, realizado en base a la interpretación de imágenes de satélite escala 1:1000000 y representado a una escala aproximada 1:3800000, en ella se puede observar que las áreas de uniformidad de drenaje a esa escala tan pequeña, se reducen de manera general a cinco zonas de uniformidad. Puede existir diferentes tipos de combinaciones entre la integración y la uniformidad de drenaje. (Figuras 7.1 y 7.3)

La uniformidad de drenaje sugiere lo siguiente:

a) Areas con condiciones litológicas similares y uniformes.

b) Uniformidad de las condiciones de erodabilidad.

c) Permite delinear con facilidad los límites entre áreas de características litológicas diferentes.

7.3.2.3 **Densidad de drenaje.-** Esta es una de las características de drenaje más importantes, ya que permite realizar la diferenciación de rocas de textura diferente y dá una idea del grado de disección de los ríos en una área.

Horton (1932) define a la densidad de drenaje como la longitud total acumulativa de ríos por unidad de superficie y puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\mathbf{D = \Sigma L/A}$$

L = Longitud de ríos
A = Area de la cuenca

Los valores que se obtienen con esta fórmula, establecen si la densidad de drenaje es alta, baja o media.

Para determinar el valor númerico D, se miden las longitudes de los ríos con un curvímetro, y para el cálculo del área de la cuenca se puede utilizar un planímetro.

La densidad de drenaje se halla controlada por varios factores, como el tipo de roca, homogeneidad o alternancia de la litología, permeabilidad y resistencia de los materiales superficiales, características del relieve topográfico, condiciones climáticas, cubierta vegetal, cantidad de precipitación pluvial, etc. razón por la cual no es posible establecer valores standares absolutos de densidad de drenaje. Sin embargo varios investigadores como Horton (1945) Langbein (1947) y A. Strahler (1957) han descrito algunos valores de densidad de drenaje. Por ejemplo A Strahler asigna valores menores a 5.0 para densidades bajas; entre 5.0 y 13.7 para valores medios densidad de drenaje; entre 13.7 y 155.3 densidades alta y mayor a 155.3 como muy alta. Por lo tanto cuando un diseño de drenaje muestra un espaciamiento muy estrecho y numeroso de corrientes corresponderá a una "Alta densidad de drenaje", por el contrario cuando existen muy pocas líneas de drenaje, corresponderá a una "Baja densidad de drenaje" .

La densidad alta de drenaje es común en rocas de grano fino, suaves y fácilmente erodables, tales como lutitas, arcillas, loess. La densidad baja de drenaje es común en rocas de grano grueso, permeables, resistentes a la erosión como areniscas, rocas ígneas, depósitos granulares no consolidados. (Figuras 7.1, 7.2 y 7.3 y 7.4)

Un concepto asociado al de densidad de drenaje es el Frecuencia de drenaje que también permite medir el grado de disección del relieve y se la define como la suma total del número de ríos dividida por el área de la cuenca. Se la representa por la siguiente ecuación:

$$\mathbf{F = \Sigma N^0 / A}$$

N^O = Número ríos
A = Area

Existe una relación entre densidad de drenaje y la frecuencia de drenaje, que Horton (1945) y Smith (1950) la definen como Textura de drenaje y se refiere al espaciamiento relativo que existe entre los ríos.

Generalmente para calificar cualitativamente la textura de drenaje se utiliza expresiones como textura muy fina y fina cuando el espaciamiento entre las líneas de drenaje o ríos es muy

estrecho o poco espaciado y muy denso. (Figura 7.4 y modelos estereoscópicos 5 - 16 - 17). Textura muy gruesa a gruesa, se utiliza cuando las líneas de drenaje se hallan muy espaciadas. (Figura 7.4 y modelos 5 - 47)

Fischer y Ray (1961) consideran la posibilidad de utilizar la textura de drenaje como un factor diagnóstico en la identificación de los diferentes tipos de litología y tratan de establecer las siguientes generalizaciones:

a) Rocas de grano grueso desarrollan una textura de drenaje gruesa y una baja densidad de drenaje. (Figura 7.4)

b) Rocas de grano fino desarrollan una textura de drenaje fina y una alta densidad de drenaje. (Figura 7.4)

c) La densidad de drenaje cambia con la escala en forma aritmética.

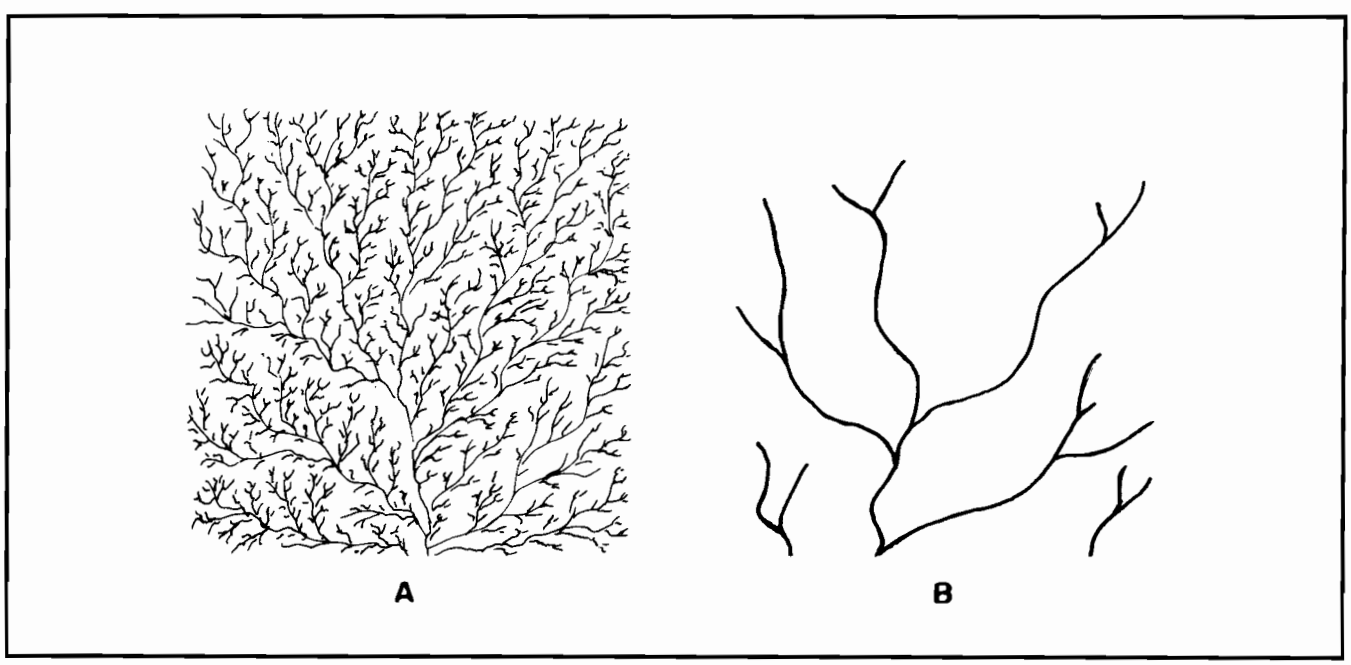


FIGURA 7.4 Densidad de Drenaje: a) Densidad muy alta de drenaje - textura de drenaje fina b) Densidad de drenaje baja - Textura de drenaje gruesa.

La textura de drenaje se halla influenciada por varios factores que tal vez no es fácil cuantificarla pero si puntualizarla. Entre los indicados factores se puede citar a los siguientes:

- Condiciones climáticas
- Cantidad y tipo de precipitación
- Cantidad y tipo de la cubierta vegetal
- Relieve (Relieve plano menor posibilidad del desarrollo de mayor líneas de drenaje que un área con diferencias notables en el relieve)
- Textura de la roca
- Permeabilidad de la roca o del suelo

Sin embargo es más probable que bajo condiciones similares en litología y estructura geológica, la textura de drenaje será más fina en una región semiárida que en regiones húmedas o tropicales, debido a la cantidad de la cubierta vegetal.

De igual manera realizando una comparación relativa entre las texturas y densidades de drenaje que se desarrollan en lutitas, areniscas, rocas ígneas, será evidente que en cualquier condición climática la textura de drenaje en las lutitas, será siempre la más fina en comparación de las otras rocas nombradas.

7.3.2.4 **Orientación.-** Esta característica del drenaje, se halla relacionada con los aspectos direccionales de un diseño de drenaje. Por lo tanto, la orientación requiere de una especificación de dirección o direcciones. La orientación del drenaje es consecuencia de la influencia de factores de tipo geológico como tendencias estructurales (diaclasamiento, fracturación), influencia de movimientos tectónicos, efectos de la roca que aflora en superficie, o factores relacionados con el desarrollo de algunos tipos de drenaje construccional.

Un diseño puede tener cualquier combinación de integración densidad y uniformidad y ser orientado y no orientado. (Figuras 7.1, 7.2, 7.5, 7.6)

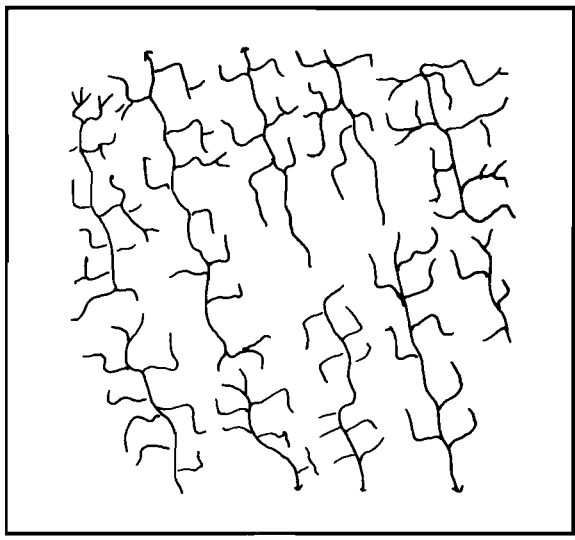


FIGURA 7.5 Drenaje orientado. Grado de control. Angulo de junta 90°.

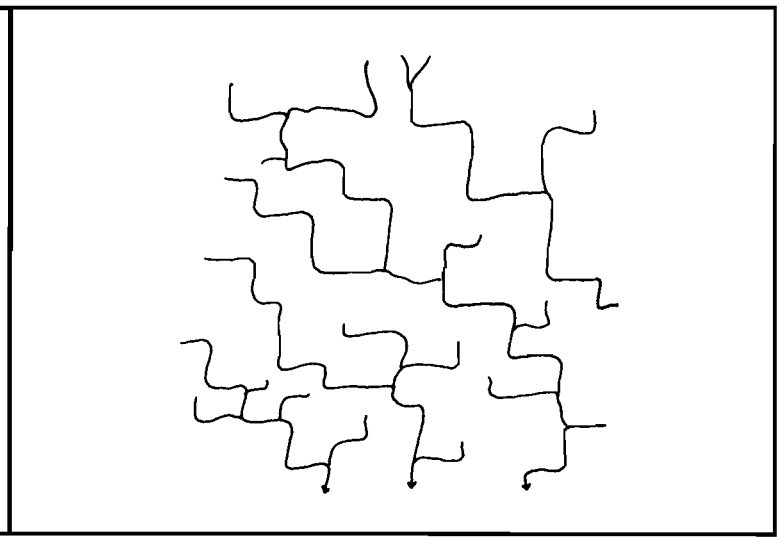


FIGURA 7.6 Drenaje orientado. Alto grado de control. Angularidad

7.3.2.5 **Grado de Control.-** Esta característica se halla en directa relación con la orientación del drenaje, por lo tanto al indicar que un determinado drenaje se halla orientado, es necesario especificar la dominancia relativa de esa orientación, que por lo general se debe a un control de tipo geológico estructural como fallamiento, diaclasamiento, fracturación y plegamiento de las rocas que ayudan al mejor análisis tectónico de una zona.

Un diseño orientado que tenga un alto control está caracterizado por la presencia de un sistema de ríos que siguen direcciones definidas por algún control que puede estar relacionado con un sistema de fallas o diaclasas. (Figura 7.6)

7.3.2.6 **Angularidad.-** Para el análisis de las anteriores características de drenaje, se ha considerado el total de ríos que integran un determinado diseño de drenaje. Para realizar el análisis de la angularidad, solo se considera el curso individual de los ríos y se la define como el cambio abrupto de la dirección normal que sigue el curso de un río. (Figura 7.7, modelos estereoscópicos 42, 43, 44, 45)

La Angularidad puede en algunos casos ser una importante guía en relación a la existencia y ubicación de zonas que también se hallan controladas por la estructura, especialmente la presencia de zonas de fallamiento, fracturación o diaclasamiento que pueda hallarse oculto o enmascarado. En otros casos puede ser debido a condiciones erráticas.

7.3.2.7 **Angulo de Junta.-** Es el ángulo de unión entre ríos tributarios y el principal en la dirección en que fluyen. Generalmente el valor del ángulo de junta corresponde al de los ángulos agudos. Mediante el análisis de los ángulos de junta, se puede deducir la dirección en la que los ríos fluyen. (Figuras 7.1, 7.4 y 7.8)

Algunos diseños de drenaje presentan ángulos de junta, que alcanzan valores aproximados a los noventa grados, en especial cuando se trata de drenajes orientados, como el Parrilla o Trellis, el Rectangular y Anular. (Figuras 7.18, 7.23).

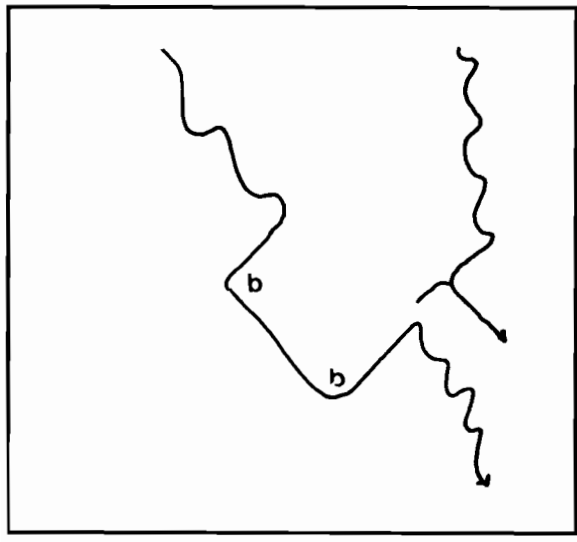


FIGURA 7.7 Angularidad.

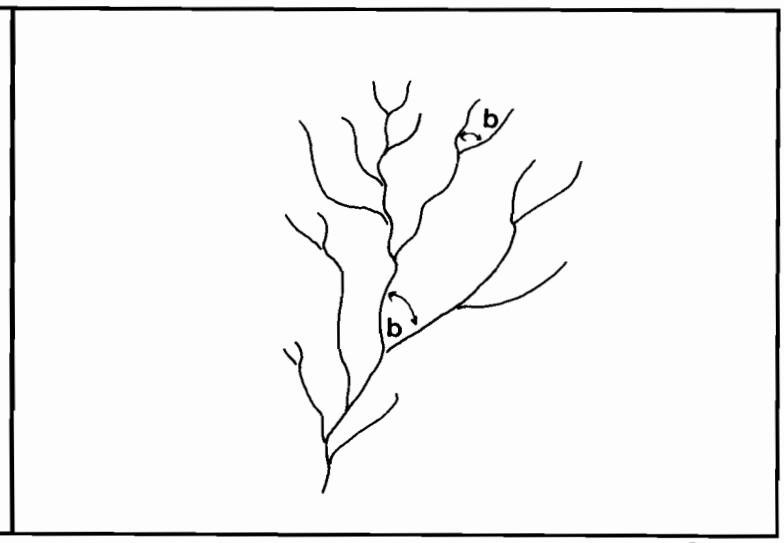


FIGURA 7.8 Angulo de junta. Angulos menores a 90°

7.4. CLASIFICACION GENETICA DEL DRENAJE

Davis (1895) clasifica a los diferentes ríos que integran un determinado diseño, en función de su génesis. Dicha clasificación aún es utilizada con algunas modificaciones realizadas por investigadores como Grabau (1932), Von Engels (1949), Holmes (1951), Melton (1952). A pesar de esos nuevos aportes, la concepción original de los términos utilizados en la clasificación genética no cambian mucho en su significado general.

Los principales ríos que corresponden a esta clasificación son los siguientes:

a) Consecuente

b) Subsecuente

c) Resecuente

d) Obsecuente

e) Insecuente

f) Antecedente

g) Superimpuesto

7.4.1. **Río Consecuente** Este término es utilizado para referirse a aquellos ríos que son los primeros en desarrollarse y fluyen con la pendiente original de superficies recientemente creadas por diferentes procesos. (Solevantamiento de estructuras homoclinales, llanuras costeras recientemente solevantadas o procesos asociados al desarrollo de llanuras aluviales, llanuras glaciares, mesetas de lavas, conos volcánicos, etc. (Figura 7.9)

7.4.2 **Río Subsecuente.-** En la etapa inicial de desarrollo de un sistema de drenaje, los ríos consecuentes serán los primeros que fluyen sobre la pendiente inicial de una superficie, que en este caso podría ser una estructura homoclinal, constituida por una alternancia de estratos resistentes y blandos a la erosión, con buzamientos menores a los 30^{o} y recientemente solevantada con inclinación hacia el mar. (Figura 7.9)

Bajo esas condiciones los ríos consecuentes originales que fluyen transversalmente a la estructura geológica, empiezan a profundizar su valle, para luego ajustarse a las rocas más fácilmente erodables, hasta que sus cursos se van desplazando hacia fajas de rocas menos resistentes a la erosión, de manera que empiezan a correr en dirección paralela al rumbo de la estratificación. Los ríos que se ajustan a esa condición de roca y al rumbo de la estructura geológica, son denominados ríos subsecuentes. (Figuras 7.9 y 7.10)

Por lo expuesto anteriormente, se ha generalizado la concepción del río Subsecuente como aquel curso que se caracteriza por fluir a lo largo de zonas de debilidad o de menor resistencia, donde puede erodar con mínima dificultad y máximo efecto. En razón de ello se considera también como ríos subsecuentes a aquellos que se ajusten y fluyen a lo largo de fallas diaclasas y fracturas.

Los valles socavados por ríos subsecuentes, que corren paralelos al rumbo de la estratificación, también son denominados Valles de rumbo o longitudinales (Figura 7.10)

7.4.3 **Río Resecuente .-** Los ríos que fluyen en la misma dirección que la de los consecuentes originales, pero desarrollados posteriormente y ubicados a un nivel de erosión más bajo, sobre una superficie denudada, son denominados ríos resecuentes. (Figura 7.9). Esta definición corresponde

al concepto original sobre lo que es un río resecuente, que se desarrolla de acuerdo al esquema descrito para los anteriores ríos. (Figura 7.9)

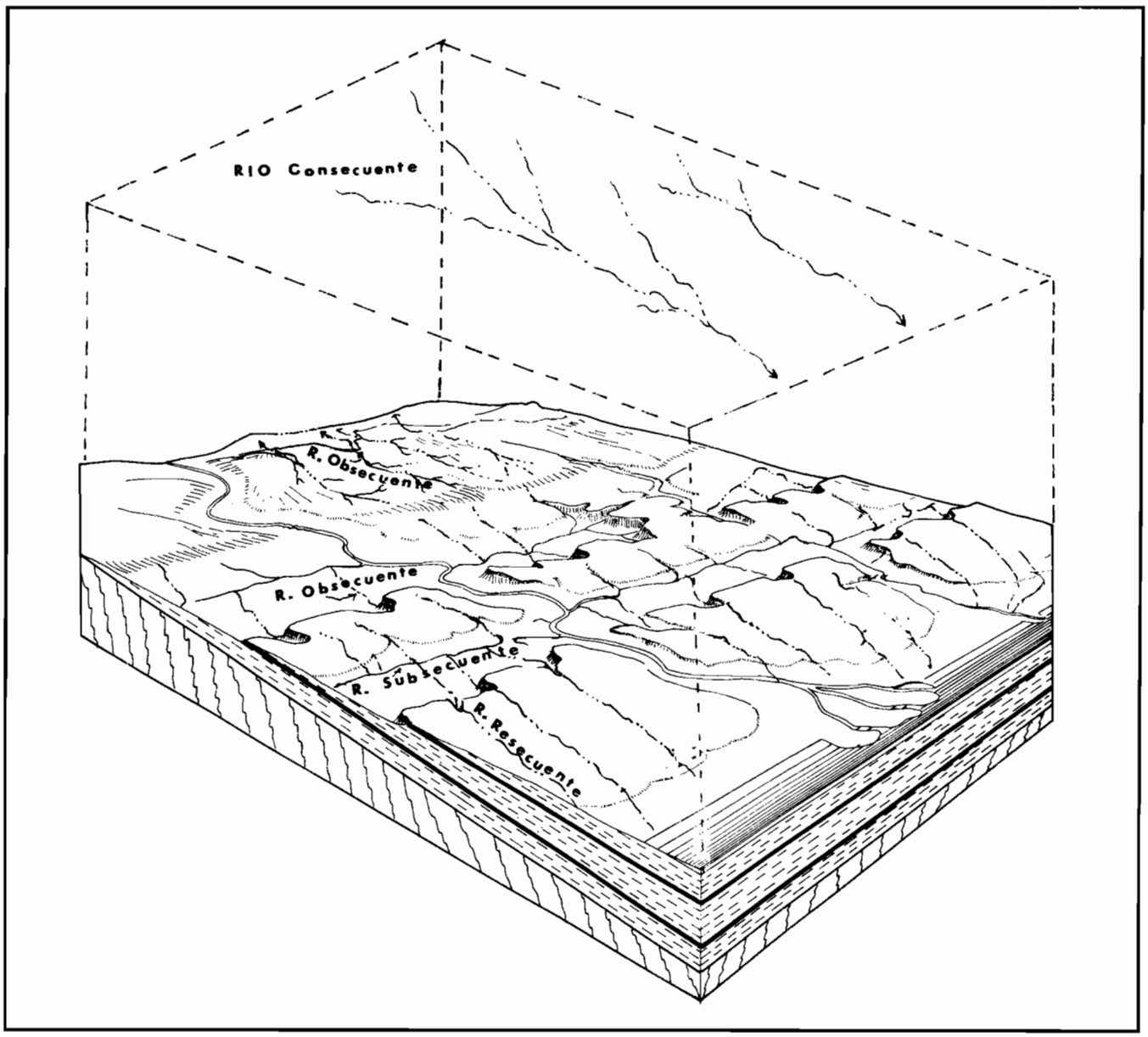


FIGURA 7.9 Clasificación genética de los ríos. (Utilizada en geomorfología).

En fotogeología este concepto ha sido modificado por considerar que en la mayoría de los casos, especialmente debido al tamaño del área a estudiar o al reducido número de fotografías aéreas utilizadas para un trabajo con objetivos específicos, resulta poco práctico tratar de determinar la dirección original de los ríos consecuentes para establecer los ríos que son resecuentes en el área. Esto se complica aún más si la historia estructural y la evolución geomórfica es compleja o poco conocida y requiere para su análisis, de un área mayor de recubrimiento. Por estas razones es que en fotogeología, se prefiere considerar como ríos resecuentes aquellos ríos que fluyen en la dirección del buzamiento de los estratos sin tomar en cuenta la dirección del río consecuente original y la evolución del paisaje. (Figura 7.10 y modelos estereoscópicos 21-32- 46 y 47). Este concepto es el que se utilizará en el texto, cuando se describan los diferentes tipos de drenaje y modelos estereoscópicos.

7.4.4 **Río Obsecuente.-** Son aquellos ríos que fluyen en dirección opuesta a la del consecuente original, pero a niveles más bajos de erosión. (Figura 7.9)

Por las mismas razones dadas para los ríos resecuentes, en fotogeología ríos obsecuentes son aquellos ríos que corren o fluyen en dirección opuesta al buzamiento de los estratos. (Fig 7.10 y modelos estereocópicos 35 - 46 - 47)

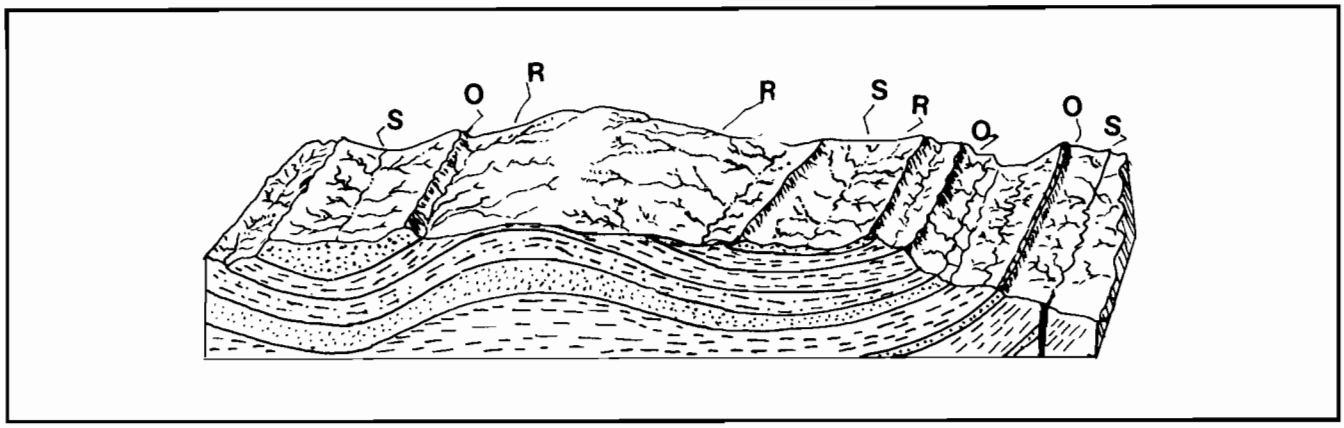


FIGURA 7.10 Clasificación genética de los ríos. (Utilizada en Fotogeología). S = Río Subsecuente, R = Río Resecuente, O = Río Obsecuente

7.4.5 **Río Insecuente.-** Se llaman así, aquellos ríos cuyo desarrollo se debe a causas no definidas, aparentemente no ha existido en su formación ningún tipo de control ya sea estructural, litológico o de relieve. (Figura 7.4, modelos estereoscópicos 5, 16, 17, 18)

7.4.6 **Río Antecedente.-** Es aquel río que habiendo establecido su curso, lo mantiene a pesar del levantamiento o el crecimiento de alguna estructura ubicada transversalmente al indicado curso. En este caso, los ríos son más antiguos que la deformación.

Los ríos antecedentes deberán ser suficientemente poderosos o la deformación muy lenta para permitir el mantenimiento de su curso a través de la secuencia entera de eventos tectónicos (Figura 7.11). Estos ríos son comunes en regiones orogénicas activas.

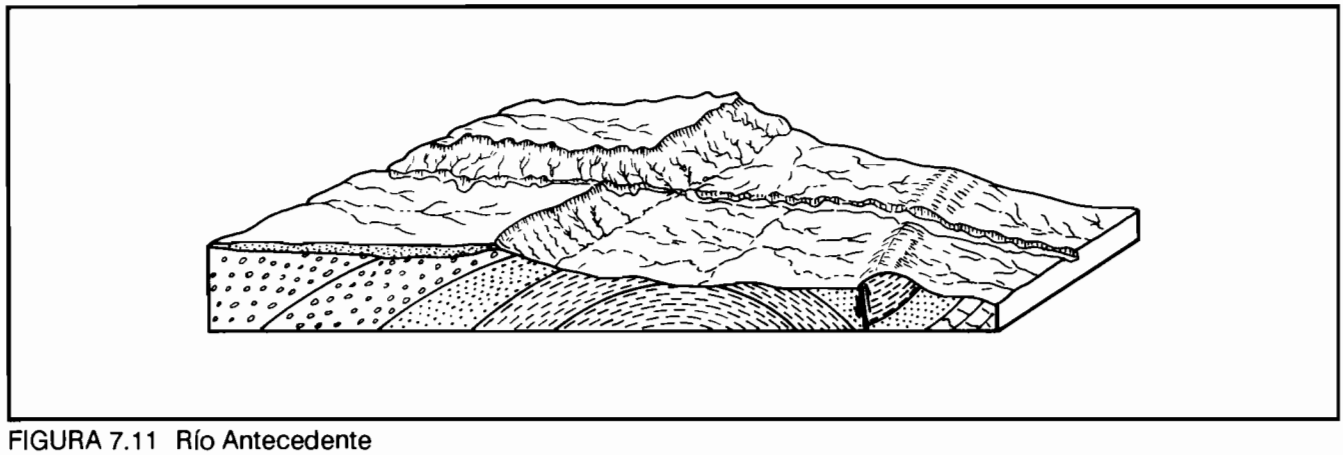


FIGURA 7.11 Río Antecedente

7.4.7 **Río Sobreimpuesto.-** Es un río que mantiene su curso durante el proceso de profundización que realiza, al pasar de una litología y estructura transversal al curso, a otra estructura subyacente a la anterior constituída por rocas también diferentes. (Figura 7.12). En este caso los ríos son posteriores a las estructuras y deformaciones.

Estos ríos son comunes en aquellas áreas donde existe depósitos recientes consolidados o inconsolidados aproximadamente horizontales, que reposan discordantemente sobre rocas más antiguas y plegadas. (Llanuras glaciares, llanuras de lava, mesetas de lava, etc.)

Thornbury clasifica a los ríos antecedentes y sobreimpuestos, en función de su orientación con el rumbo de la estructura geológica, como ríos transversales a la estructura.

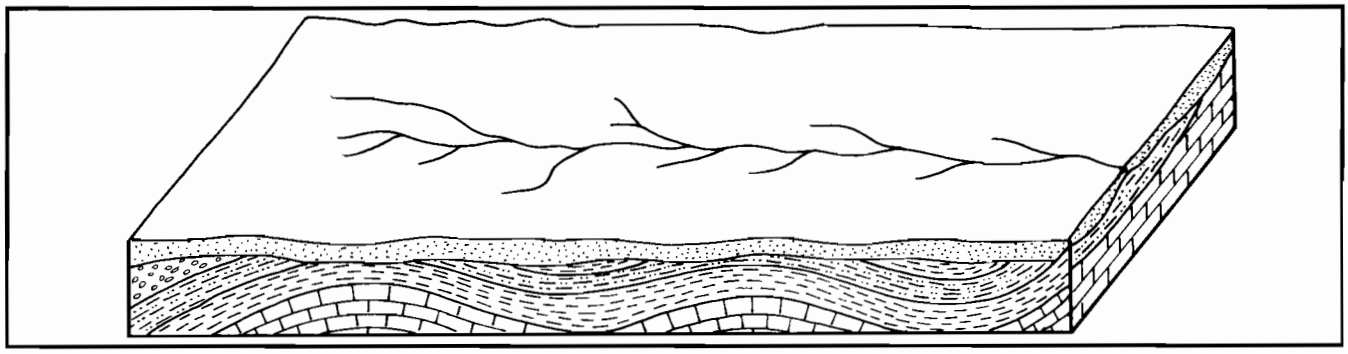


FIGURA 7.12 Río Sobreimpuesto

7.5 DESCRIPCION DE LOS DISEÑOS DE DRENAJE

De acuerdo a las diferentes clasificaciones de drenaje presentadas en el subtítulo 7.3.1, se establece que los nombres que se utilizan para designar a los diseños de drenaje en cada clasificación, son los mismos además de tener similar significado, razón por la cual se prefiere definir y describir cada uno de ellos en forma independiente de las clasificaciones ya discutidas.

Como la descripción de los diferentes diseños de drenaje, debe ser aplicada en la fotografía aérea, es conveniente presentar las siguientes consideraciones:

a) La apreciación de un diseño de drenaje en un sólo modelo estereoscópico o en varios modelos se halla en función de la extensión regional que tiene un diseño de drenaje y de la escala de las fotografias aéreas.

b) La identificación de algunos diseños de drenaje es relativamente más fácil y rápida que el de otros diseños y de igual manera la escala de la fotografía juega un rol importante en dicha identificación.

7.5.1 **Diseño de drenaje Dendrítico.-** Se ha denominado con el nombre de Dendrítico a este drenaje, por el parecido que muestra el conjunto de ríos que integran este diseño, con la disposición que tienen las ramas y el tronco de un árbol que se halla desprovisto de hojas en época de invierno. (Figura 7.13, modelo estereoscópico 16, 17 y 18)

Los ríos que integran este diseño se caracterizan por mostrar una marcada ramificación de sus tributarios en varias direcciones, con ángulos de junta muy variables aunque generalmente en ángulos menores a un recto.

Genéticamente los ríos que integran este diseño pertenecen al grupo de los ríos insecuentes.

El diseño en general es un diseño bien integrado, no orientado, sin control estructural y cuya densidad de drenaje varía de acuerdo a la roca sobre la cual corre. En este sentido la densidad y la textura de drenaje ayudan en la diferenciación e identificación de las características litológicas de las rocas afectadas por este diseño.

Este diseño de drenaje sugiere uniformidad en la roca o materiales sobre el cual fluye, razón por la cual este diseño puede desarrollarse en cualquier tipo de roca, con la única condición que ellas sean homogéneas en sus características litológicas. Cuanto mayor sea la extensión del afloramiento de un solo tipo de roca, mayor la posibilidad del desarrollo del drenaje dendrítico. Este diseño también sugiere la falta de un marcado control estructural.

De acuerdo a lo expresado anteriormente, la densidad y la textura de drenaje son los criterios complementarios que permiten definir con mayor aproximación el tipo de roca que le puede corresponder a un determinado diseño de drenaje dendrítico. Por lo general, cuando este diseño se halla asociado a rocas de textura o de grano fino, como lutitas, arcillas, margas, loess, mostrarán una densidad alta de drenaje o una textura fina a muy fina de drenaje. (Modelos estereoscópicos 5, 16, 17 y 18)

Por el contrario rocas ígneas intrusivas y areniscas muestran una densidad baja de drenaje y textura gruesa de drenaje, siempre que ellas no se hallen afectadas por mucho diaclasamiento, fallamiento y variaciones muy pronunciadas en la resistencia a la erosión. (Modelos estereoscópicos 24, 26, 48)

En rocas metamórficas, también es muy factible el desarrollo de drenaje dendrítico, dependiendo especialmente de la homogeneidad y uniformidad de la roca.

El diseño dendrítico puede también desarrollarse en áreas donde afloran rocas que tengan estratificación aproximadamente horizontal y en zonas de relieve plano.

El diseño de drenaje dendrítico, puede presentar modificaciones, que algunos autores las consideran como variaciones y otros como diseños modificados. Entre ellos se hallan las variedades denominadas:

a) Diseño Pectineo o de Peine

b) Diseño Pinado o de Pluma

c) Diseño Subdendrítico

d) Diseño Tenaza

7.5.1.1 **Diseño Dendrítico variedad Pectineo o de Peine .-** Esta variedad se caracteriza por mostrar ríos que podrían considerarse los troncales que se hallan dispuestos en forma paralela, a los

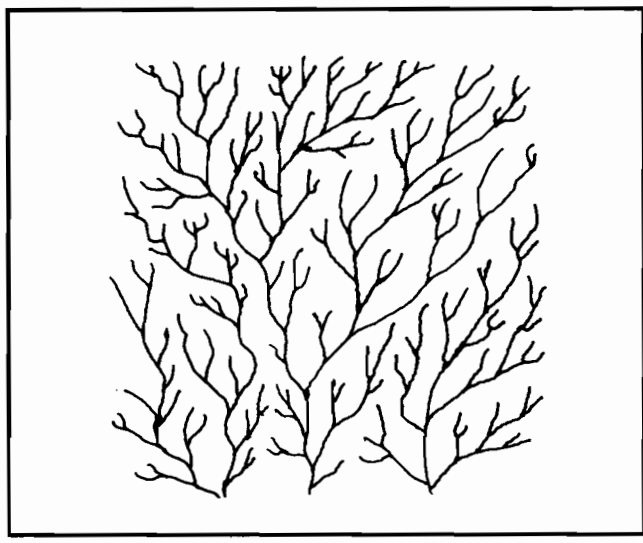


FIGURA 7.13 Diseño de drenaje dendrítico

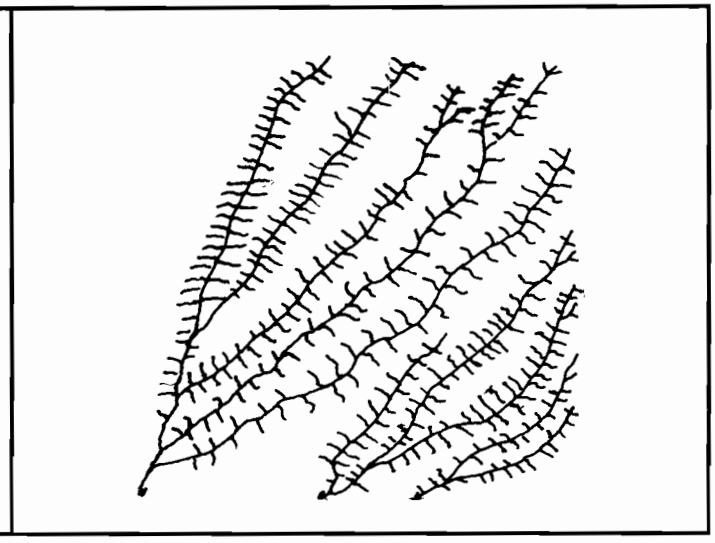


FIGURA 7.14 Variedad pectineo

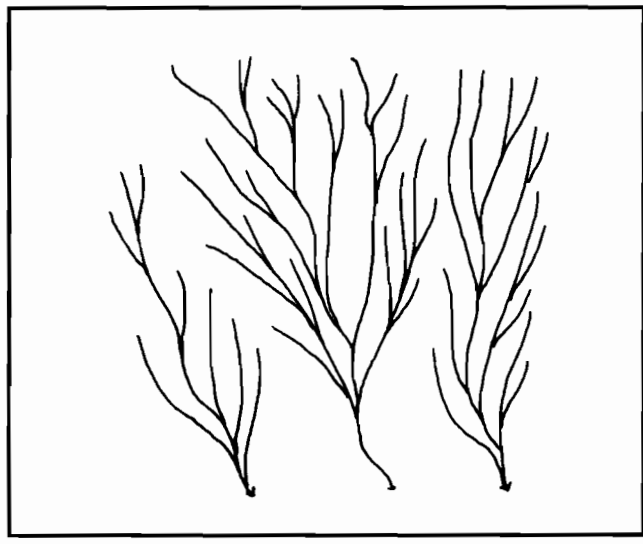


FIGURA 7.15 Variedad pinado

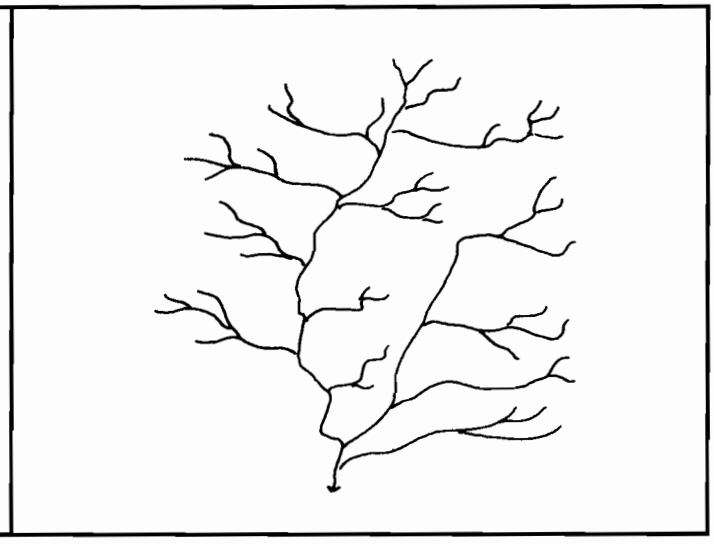


FIGURA 7.16 Variedad sub-dendrítico

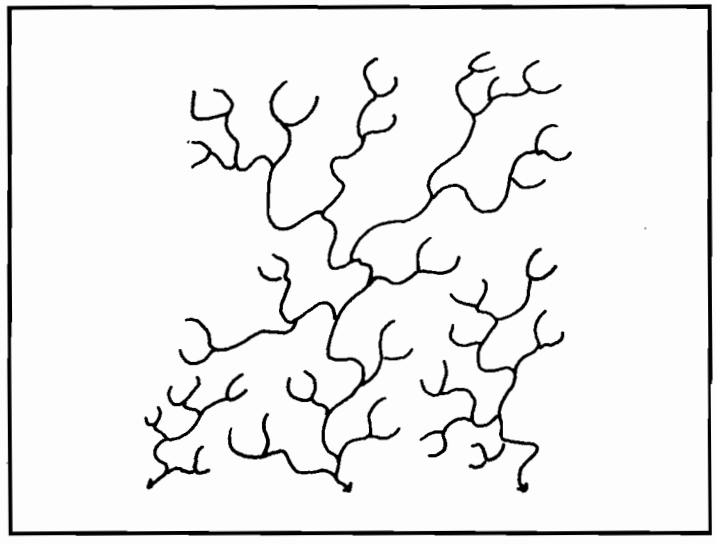


FIGURA 7.17 Variedad tenaza

que se unen por ambos lados, con ángulos de junta de 90° pequeños ríos tributarios de dimensiones iguales en longitud, los que en conjunto semejan la apariencia de un peine, de donde proviene el nombre de pectineo. (Figura 7.14)

Generalmente esta variedad de diseño, se presenta en áreas donde afloran depósitos de Loess, en el cual los pequeños valles tributarios que se desarrollan se caracterizan por mostrar sus perfiles transversales en forma de U con pisos planos y paredes verticales. Se hace notar que algunos autores consideran a las características de este diseño como pertenecientes al diseño variedad Pinado.(Parvis). En el texto el concepto de Pinado es otro y se define y describe a continuación.

7.5.1.2 **Diseño Dendrítico variedad Pinado o de Pluma.-** El término Pinado o de Pluma que se utiliza para designar a esta variedad se debe a la semejanza que muestra el arreglo que tiene el conjunto de ríos con la que muestran las partes de una pluma de ave. Los ríos tributarios se unen al principal con ángulos de junta agudos. (Figura 7.15, modelo estereoscópico 48)

Este drenaje se desarrolla sobre superficies con pendientes empinadas sobre el cual se desplazan los ríos en forma casi paralela y bien espaciadas.

7.5.1.3 **Diseño dendrítico variedad Subdendrítico .-** Cuando la estructura geológica ejerce un control muy ligero sobre el drenaje dendrítico, se modifica a un diseño que ha sido denominado Subdendrítico.

Una de las causas más comunes para el desarrollo del drenaje subdendrítico, es el ajuste de algunos ríos a la presencia de ligeras variaciones en las características litológicas o estructurales que pueda tener una secuencia litológica. En este caso el diseño a pesar de la apariencia dendrítica general que tiene, muestra ríos que se apartan del carácter insecuente que deberían tener, sugiriendo más bien algún pequeño control traducida en ciertos casos en la forma rectilínea de varios de estos ríos. (Fallas, diaclasas, fracturas) (Figura 7.16, modelo estereoscópico 49)

7.5.1.4 **Diseño dendrítico variedad Tenaza.-** Este diseño se halla asociado generalmente a áreas con afloramientos de rocas ígneas tipo granito, afectadas por meteorización física, especialmente expansión por liberación de carga y térmica, que dan lugar a la exfoliación concéntrica y granular y debido a ello los granitos adquieren formas redondeadas.

A consecuencia de las formas redondeadas que adquieren los granitos por efecto de los indicados procesos de meteorización, los ríos que fluyen sobre estas rocas se ajustan a dichas formas, en especial en las cabeceras o nacientes, de manera que los cursos de los ríos adquieren en su diseño individual, formas curvilíneas similares a las de una tenaza. Algo parecido puede ocurrir a lo largo del curso del río de manera que la apariencia general que muestra esta variedad será la de ríos con deflexiones muy marcadas de tipo semicircular. (Figura 7.17)

7.5.2 **Diseño de drenaje Parrilla (Trellis).-** Se halla constituído por un sistema de ríos principales paralelos o sub paralelos, generalmente alineados a lo largo del rumbo de los estratos, a los que desembocan en forma perpendicular ríos tributarios, éstos a su vez se hallan unidos también en forma perpendicular a ríos tributarios secundarios paralelos al principal, de manera que la apariencia

global que presenta este diseño es algo parecida a la rejilla de cocina utilizado para tostar carne. (Figura 7.18)

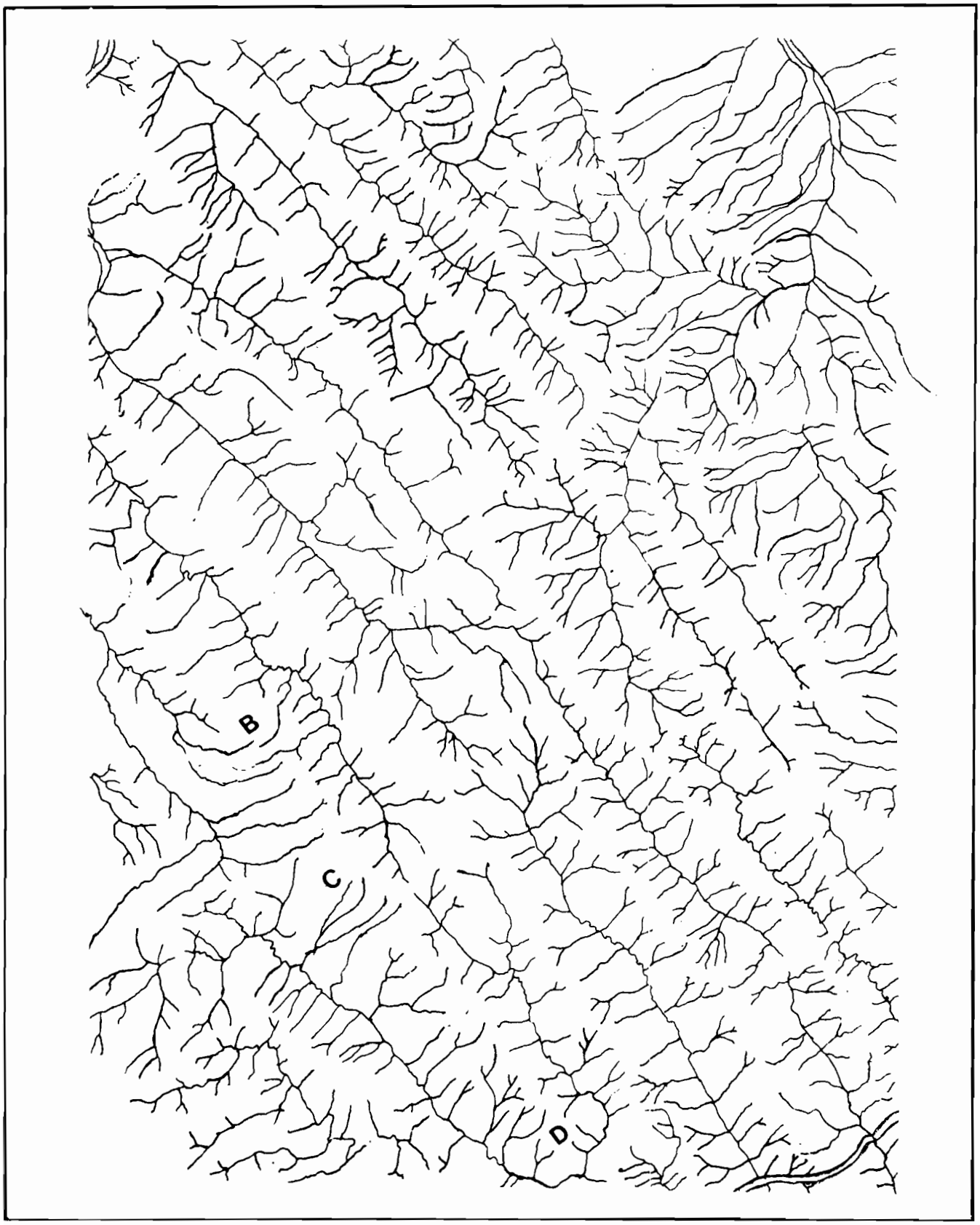


FIGURA 7.18 Diseño de drenaje Parrilla. En los puntos B, C y D, los ríos se ajustan al cierre de un pliegue. (Tomado hoja topográfica N° 6539 - II Aiquile)

De acuerdo a la clasificación genética, los ríos principales de este diseño corresponden a ríos subsecuentes, mientras que los ríos tributarios que se unen perpendicularmente a los principales, corresponden a ríos resecuentes y obsecuentes. (Figura 7.10, modelos estereoscópicos 33 y 35)

En general este diseño es bien integrado, la densidad de drenaje varía de acuerdo a la litología presente, es un drenaje orientado y controlado por la estructura, con ángulos de junta de 90^{o}.

El diseño de drenaje parrilla, sugiere al fotogeólogo un fuerte control estructural debido a plegamiento y la presencia de una alternancia marcada de diferentes tipos de rocas.

Por lo tanto reconocer este drenaje en la fotografía aérea, es un criterio muy importante para identificar pliegues anticlinales y sinclinales. De igual manera, el espaciamiento entre los ríos principales o subsecuentes, que muestra este diseño puede ayudar a obtener una idea general, sobre la uniformidad o heterogeneidad de las rocas que pertenecen a la alternancia litológica sobre la que discurre este drenaje.

Un espaciamiento grande entre los ríos subsecuentes, puede sugerir uniformidad en las caracteristicas litológicas de las rocas, mientras que en un espaciamiento estrecho, puede sugerir que la alternancia de rocas es muy heterogénea, razón por la cual la erosión diferencial entre ellas es más marcada.

Los modelos estereoscópicos 4, 32, 33, 34 y 35, son ejemplos que permiten apreciar que el espaciamiento que existe entre los ríos principales o subsecuentes, coincide con las variaciones en la uniformidad de la litología en relación a la resistencia a la erosión que pueden tener los diferentes tipos de roca.

El ajuste de este diseño de drenaje al control estructural, sugiere un drenaje que ha alcanzado el estado de madurez.

R. Ray (op.cit) considera la posibilidad de predecir el valor del buzamiento de los estratos, si se establecen las relaciones de longitud entre ríos obsecuentes y resecuentes, que se resumen en tres condiciones:

a) Si la longitud de los ríos resecuentes es mayor que la de los obsecuentes, el valor del buzamiento de los estratos será menor a los 45^{o}. (Figura 7.19a)

b) Si la longitud de los ríos obsecuentes es mayor que la de los resecuentes, el valor de buzamiento de los estratos será mayor a los 45^{o}. (Figura 7.19b)

c) Para llegar a estas conclusiones, es necesario conocer el rumbo y dirección del buzamiento de la estratificación, para lo cual se requiere complementar este análisis con el examen estereoscópico de las fotografías aéreas.

Algunos autores en base a pequeñas diferencias que se observan en el diseño parrilla, consideran que ellas pueden ser tratadas como variedades o modificaciones de este drenaje, aunque éstas no son tan marcadas como ocurre con el diseño dendrítico en el cual es posible establecer diferencias muy notorias entre sus variedades.

Se han asignado nombres como subparrilla, direccional y curvilíneo (Howard 1967) para señalar algunas de las indicadas variedades que reflejan según el mencionado autor condiciones muy particulares para cada una de ellas. Sin embargo, ellas por el contrario son muy comunes y

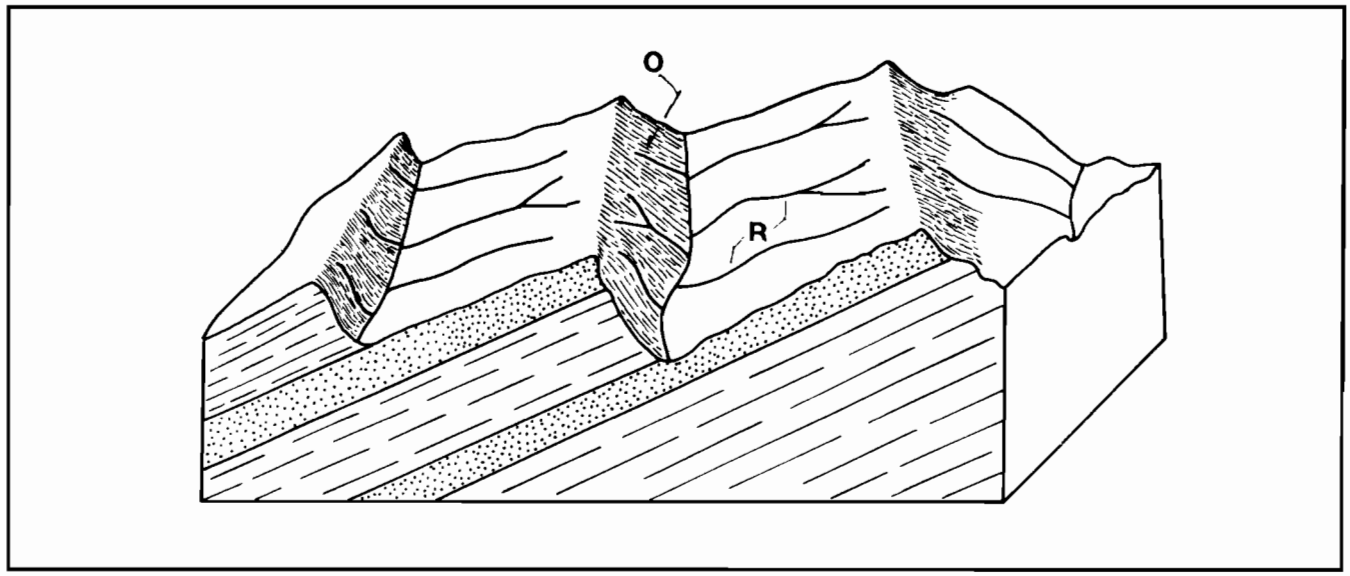


FIGURA 7.19.a Diseño Parrilla - Si los ríos resecuentes (R) son de mayor longitud que los obsecuentes (O), el buzamiento de los estratos es menor a 30 ° (Según Richard Ray -1960)

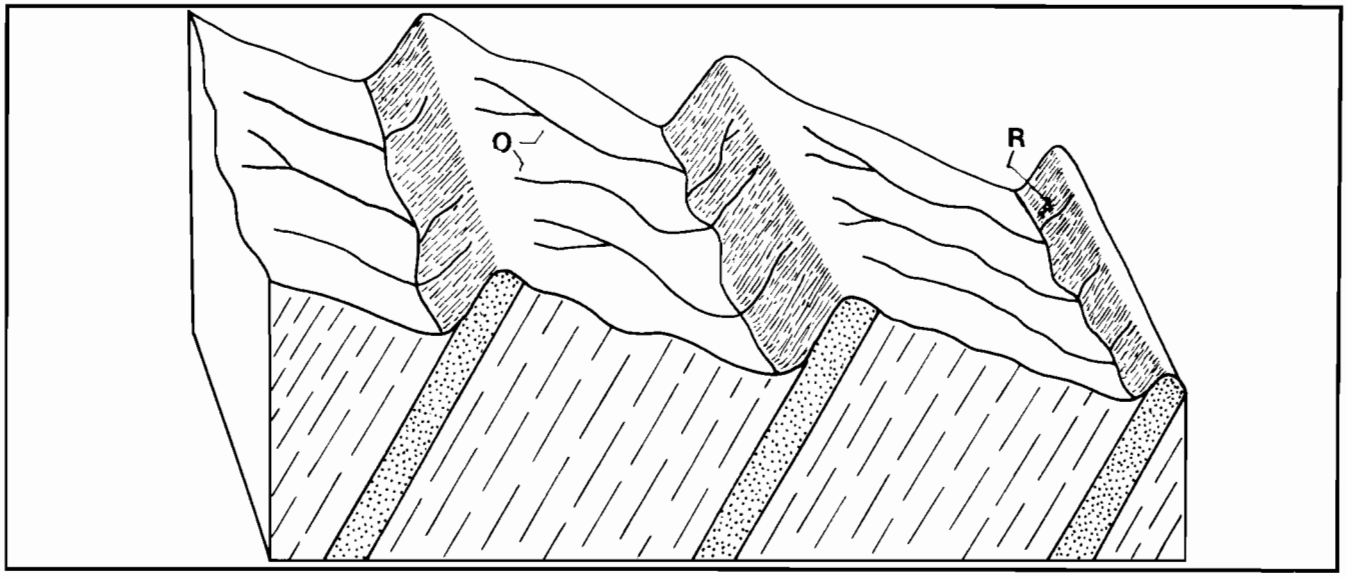


FIGURA 7.19.b. Diseño Parrilla - Si los ríos obsecuentes (O) son de mayor longitud que los ríos resecuentes (R), el valor del buzamiento de los estratos es mayor a 30° (Según Richard Ray-1960)

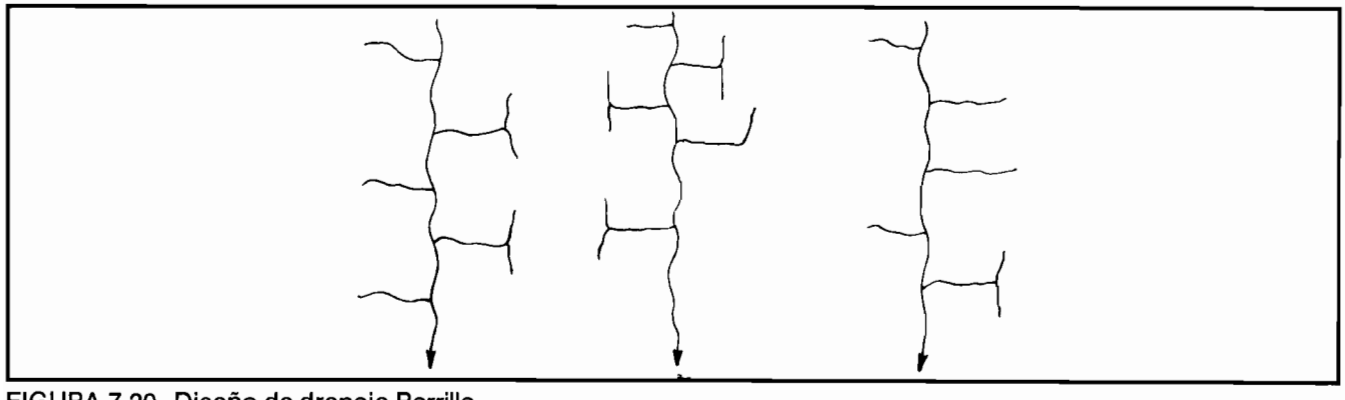


FIGURA 7.20 Diseño de drenaje Parrilla

constituyen criterios muy importantes para calificar a un drenaje como parrilla. Por ejemplo en áreas donde el relieve tiene una fuerte expresión morfológica y en el que las estructuras plegadas son de fácil identificación, como en los sectores donde existen cierres de pliegues, hundimiento de estructuras anticlinales, narices anticlinales, el drenaje se ajusta al control de dichos elementos tectónicos, de manera que los cursos de los ríos subsecuentes presentan deflexiones que siguen la dirección de los diferentes cierres de cada estructura. (La figura 7.21 que corresponde al drenaje del modelo estereoscópico 35, muestra ejemplos de deflexión del drenaje en los puntos A, B, C y D. Los modelos estereoscópicos 10, 33, 50) son ejemplos parecidos al anterior. Según Howard, correspondería a la variedad Parrilla curvilíneo.

Si este tipo de deflexión del drenaje se observara en áreas de relieve plano, en el que no existe ningún afloramiento de rocas y pliegues, las deflexiones son en ese caso consideradas como anomalías de drenaje, que podrían sugerir áreas plegadas.

Cuando un área de plegamiento, se halla afectada por fallas paralelas al rumbo de la estratificación, se desarrollará el drenaje parrilla, en el que los ríos subsecuentes se ajustan al rumbo de las diferentes fallas paralelas longitudinales, las que generalmente se apartan muy poco del rumbo general de la estratificación.

Este diseño es considerado como una variedad del parrilla y es denominado Parrilla de Fallas (E.Zernitz, W. Thornbury y A. D. Howard) (op.cit)

A continuación, se presentan algunas consideraciones relacionadas con las condiciones que favorecen la rápida identificación del drenaje Parrilla en la fotografía aérea, comparada con los otros diseños de drenaje.

De manera general, se puede afirmar que la identificación del diseño de drenaje Dendrítico es más sencilla en relación al drenaje parrilla. Esta afirmación, en cierto modo es relativa y se halla en función de la escala de la fotografía aérea y de la extensión del área que ocupan ambos diseños.

Generalmente en fotografías aéreas a escalas grandes y medias (1: 5000 a 1:50000) la identificación del diseño dendrítico es más fácil que la del diseño parrilla. Una de las causas para que esto ocurra, se halla relacionada con la extensión regional que caracterizan a las áreas de plegamiento, que normalmente sobrepasan los 200 Km^2 en superficie, por lo que generalmente se requiere de varias fotografías aéreas para poder apreciar en forma global a este diseño, pero tampoco esto significa que este drenaje no pueda ser apreciado en una sóla fotografía aérea.

Por el contrario, el diseño dendrítico, por sus características, es apreciado en una sóla fotografía aérea, ya que la única condición para el desarrollo de este diseño, es la homogeneidad de la litología en áreas de extensión muy reducida, incluso de menor extensión real que la que corresponde al área de una fotografía aérea.

De acuerdo a lo dicho anteriormente, se puede establecer que cuanto más grande la escala, menor la posibilidad para que un diseño parrilla sea identificado en una sola fotografía aérea.

La identificación del drenaje Parrilla, es más efectiva, si se utiliza para ello varias fotografias aéreas, que puede ser complementada con el estudio de imágenes de satélite.

Sin embargo, cuando se realiza la interpretación de imágenes, se debe tomar en cuenta, que la escala de dichas imágenes puede producir un efecto contrario, ya que el resto de los diseños de

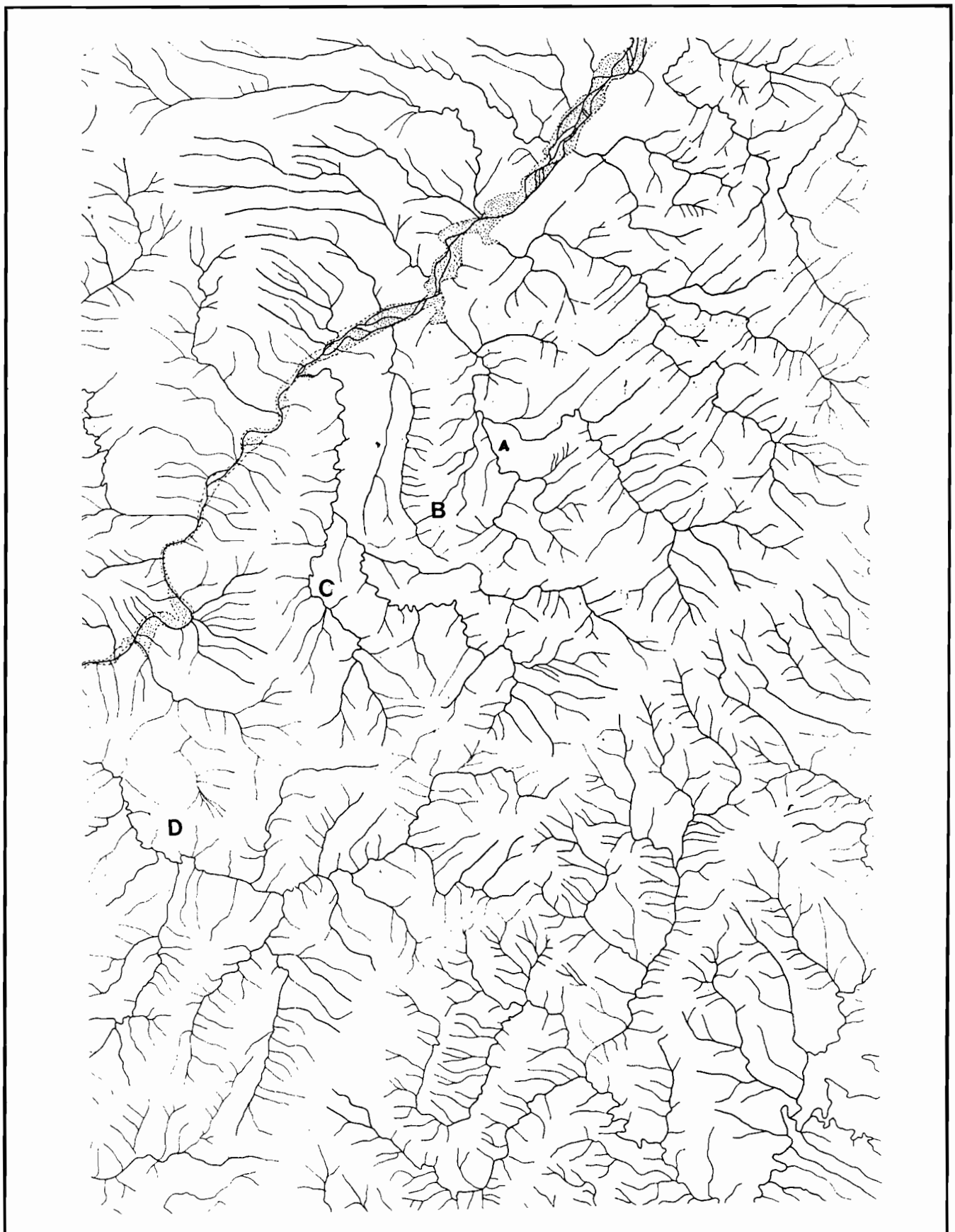


FIGURA 7.21 Diseño de drenaje Parrilla. Las curvas que el drenaje toma en forma de arco en los puntos A, B, C y D, sugieren control debido a la presencia del cierre de un pliegue (Tomado hoja topográfica IGM No 6439-I-San Vicente)

drenaje, por su reducida extensión real que tienen en comparación a la del drenaje Parrilla, puede que no sean observable a la escala de las imágenes de satélite (1:1000000).

Como ejemplo se muestra el drenaje que corresponde a la parte Oeste del territorio boliviano, preparado en base a imágenes Landsat, escala 1: 1000000 y representada en la figura 7.22 a escala aproximada 1:3000000.

En la indicada figura, se observa que el diseño de drenaje que predomina en la Cordillera Oriental de Los Andes y en las Serranias Subandinas corresponde al drenaje Parrilla. En la misma región, existen otros diseños de drenaje, pero ellos no pueden ser apreciados a esa escala, como lo son en fotografías aéreas de escala grande, en las que diseños como el dendrítico, rectangular, radial y otros son de fácil identificación, como los observados en los modelos estereoscópicos de este texto, que corresponden a las indicadas zonas.

Por lo tanto, en todo análisis de drenaje, se debe tomar en consideración los aspectos mencionados anteriormente, para evitar un falsa interpretación del drenaje observado, remarcando que el conocimiento de la escala a la que se trabaja determina el tipo de información que se obtendrá.

Cuando en una alternacia de rocas que se hallan plegadas, se halla una roca que tenga mayor extensión real de afloramiento que las otras, ella desarrollará un drenaje dendrítico, que será parte del diseño regional predominante que es el drenaje Parrilla, denominándose en este caso al diseño como Parrilla con dendrítico local. (Figura 7.3, foto 1.3)

Existe un caso especial y de excepción en el cual el diseño de drenaje Parrilla no refleja control estructural debido a plegamiento. Se desarrolla en áreas que han estado sometidas a efectos de la glaciación continental durante el Pleistoceno, asociados a campos de Drumlins, los cuales se hallan agrupados, alineados y orientados en la dirección del movimiento del hielo. La distribución y orientación de este grupo de depósitos controlan el drenaje regional, desarrollando un sistema de ríos que corren paralelos a la orientación de los drumlins, a los que desembocan ríos tributarios que fluyen de las laderas de estos depósitos. En este caso los ríos principales son consecuentes.

La identificación y diferenciación entre estos dos tipos de parrilla, es posible realizarla, si se acuden a otros criterios especialmente relacionadas con las geoformas asociadas a cada uno de estos tipos.

7.5.3 **Diseño de drenaje Rectangular.-** Se caracterizan porque los cursos de los ríos adoptan la apariencia de un trazado reticular, en el que los ríos fluyen en tramos rectos cortos, con numerosos cambios abruptos de dirección generalmente a 90°, a los que se unen en ángulos rectos, pequeños ríos tributarios. (Figura 7.23). La diferencia entre ríos principales y tributarios en este drenaje no es muy clara, constituyendo un criterio importante para diferenciarlo del drenaje Parrilla, con el que podría ser confundido y en el que los ríos principales están bien definidos, y orientados en forma paralela entre si.

Genéticamente, los ríos que integran este diseño son subsecuentes.

El drenaje Rectangular se caracteriza por ser bien integrado, orientado, bien controlado, marcada angularidad, ángulos de junta de 90°, la densidad de drenaje varía de acuerdo a las rocas afectadas.

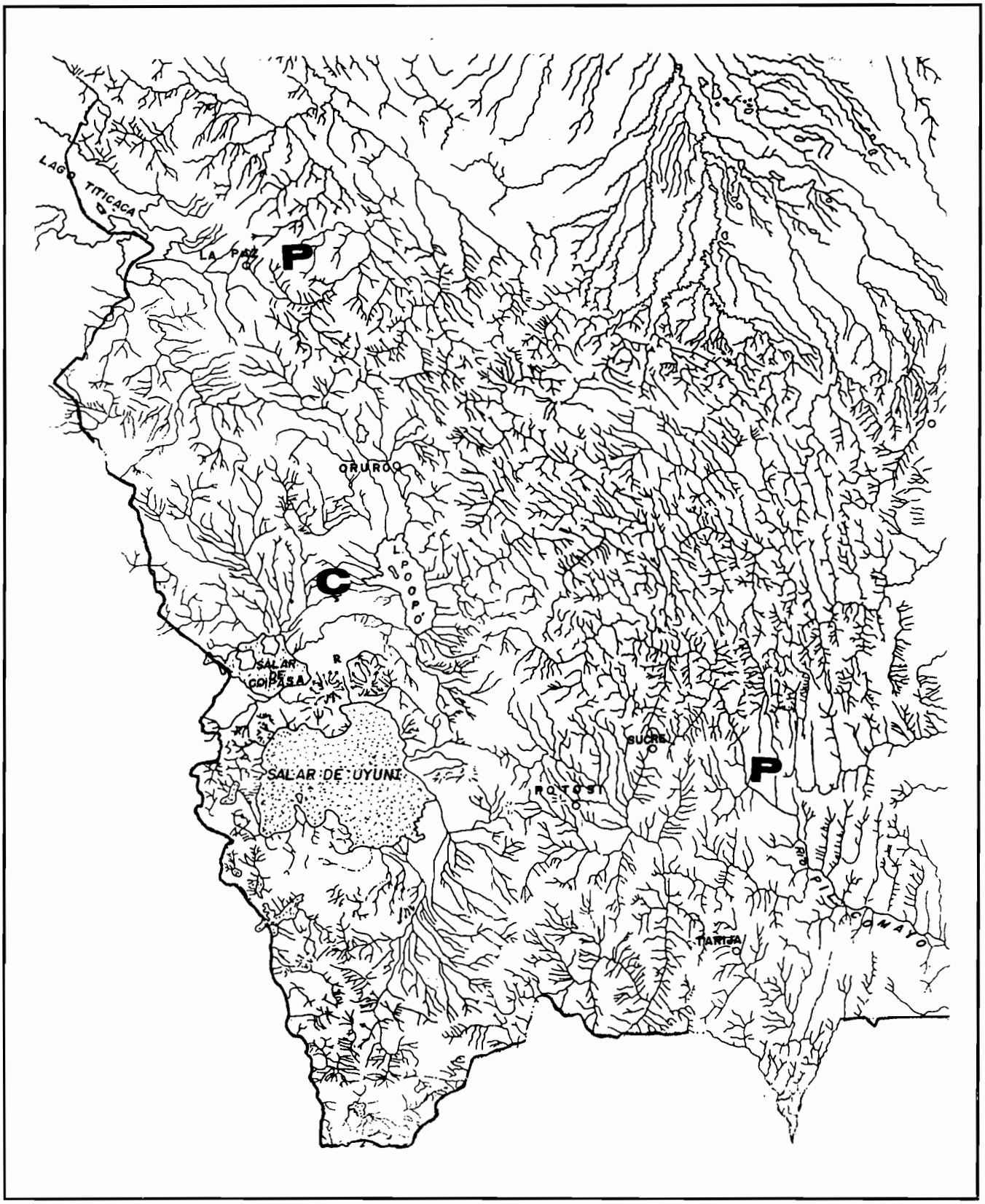


FIGURA 7.22 Diseños de drenaje correspondiente a la parte Central y Oeste del territorio de Bolivia. Drenaje obtenido de la interpretación de imágenes LANDSAT (escala 1:1000000). P = Diseño de drenaje Parrilla desarrollado en la Cordillera Oriental de los Andes y Serranías Sub-Andinas. C = Diseño de drenaje Centripetal desarrollado en el Altiplano, (Salar Uyuni - Lago Poopó, lagunas y salares menores). R = A pesar de la gran cantidad de volcanes en la Cordilera Occidental y Altiplano, por razones de escala, es muy difícil apreciar el diseño de drenaje Radial. En el punto R, al Norte del Salar de Uyuni es posible observar dicho drenaje.

Este diseño de drenaje, sugiere la presencia de un sistema de fallamiento, diaclasamiento o fracturación, orientadas en dos direcciones perpendiculares entre si, generalmente asociadas a zonas donde existen rocas de gran resistencia a la erosión, como areniscas con buzamientos bajos a horizontales, mesetas de lavas, etc. (Modelos estereoscópicos 65, 66)

Cuando la intersección del sistema de fallas o diaclasas, ocurre con ángulos menores a los 90^{o}, los ríos al ajustarse a dicho modelo, se apartan del típico diseño rectangular, y adoptan un diseño modificado en el que los ríos, muestran ángulos menores a los 90^{o} tanto en las deflecciones que realizan en su recorrido, como en la unión con los ríos tributarios, considerando a este modelo como una variedad del drenaje Rectangular y es denominado Diseño Angular. (Figura 7.24)

En ambos diseños, Rectangular y Angular, el ajuste de los ríos es más pronunciado en una dirección de diaclasamiento o fallamiento que en la otra, razón por la cual, en la fotografía aérea, la identificación de un sistema de ríos es más notoria en una de las direcciones que la otra.

De igual manera que en el caso del diseño de drenaje Parrilla, puede ocurrir el desarrollo de un drenaje dendrítico local, como parte de un drenaje regional Rectangular. Como ejemplo se puede citar el caso de una roca homogénea, afectada por un sistema de fallas o diaclasas muy espaciadas, de manera que los ríos mayores se hallan alineados al sistema de diaclasas o fallas, mientras que en los bloques separados por las fallas o diaclasas se desarrollan ríos tributarios insecuentes que adoptan un diseño dentrítico.(Figura 7.25).

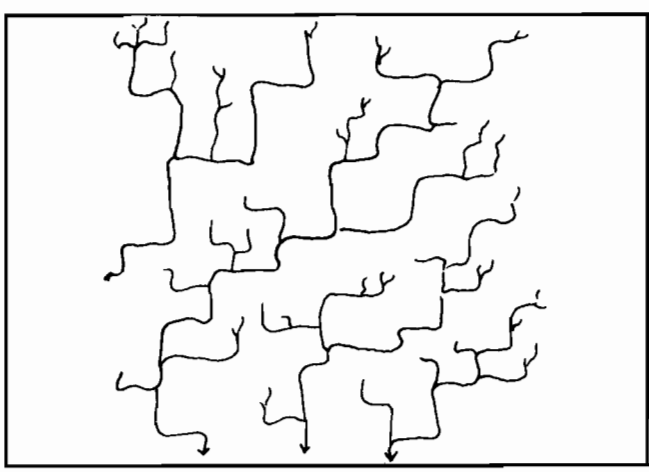


FIGURA 7.23 Diseño de drenaje rectangular

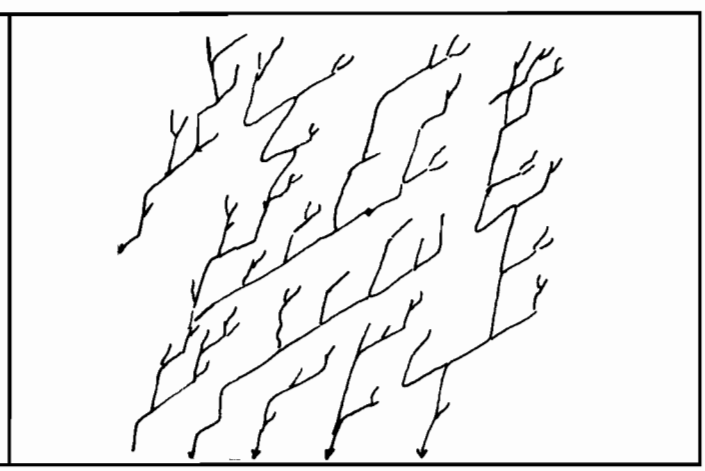


FIGURA 7.24 Variedad angular

7.5.4 **Diseño de Drenaje Anular.-** Como su nombre lo indica, el drenaje Anular se caracteriza por que los ríos principales se hallan dispuestos en forma circular y concéntrica, a los cuales desembocan en forma perpendicular pequeños ríos tributarios, que asemejan anillos concéntricos de diferentes diámetros. (Figura 7.26)

Este diseño sugiere la presencia de estructuras dómicas muy disectadas en etapa de madurez, la cual se halla rodeada por una serie sedimentaria, constituída por una alternancia de rocas con diferencias muy marcadas en su resistencia a la erosión. Puede tambien sugerir la presencia de estructuras anticlinales de forma dómica.

Bajo las indicadas condiciones, la acción erosiva es más intensa en las rocas sedimentarias menos resistentes, desarrollando ríos subsecuentes que van extendiendo sus cursos rodeando en forma circular al domo, con un relieve que se caracteriza por mostrar una alternancia de serranías

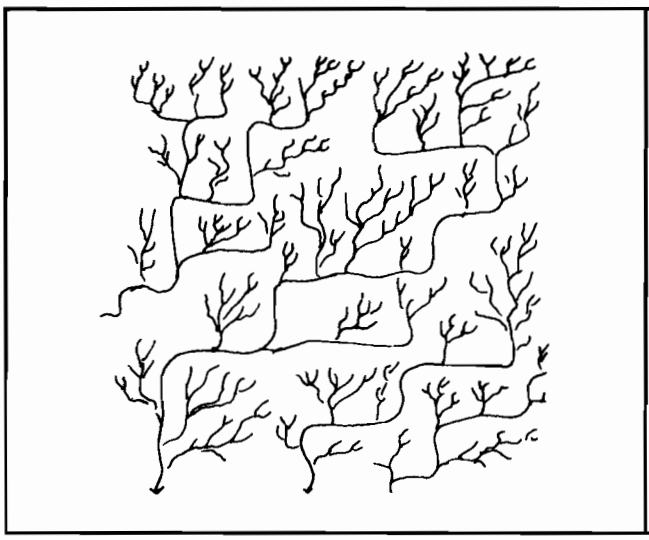


FIGURA 7.25 Drenaje rectangular con dendrítico local

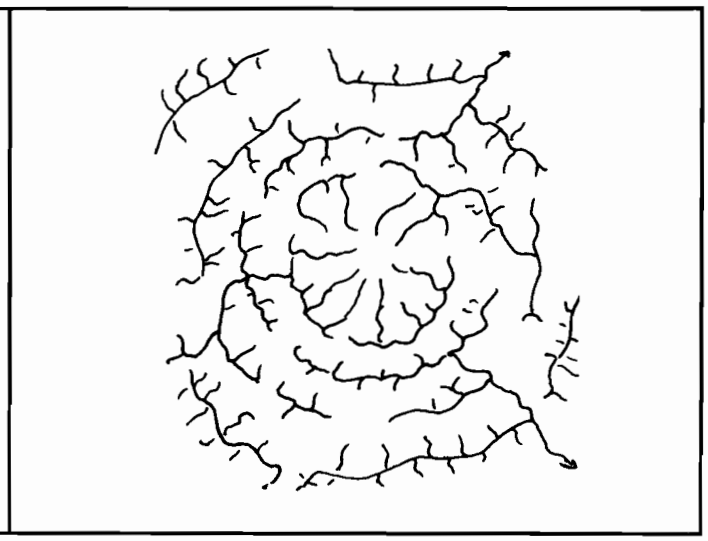


FIGURA 7.26 Diseño de drenaje anular

y valles orientados en forma circular y concéntricas. Las serranias se hallan controladas por el rumbo y buzamiento de la estratificación.

Genéticamente los ríos corresponden a ríos subsecuentes, resecuentes y obsecuentes, al igual que los del diseño de drenaje Parrilla.

El diseño de drenaje Anular, generalmente se halla asociado con el drenaje de tipo Radial o el Centripetal, que se desarrolla en el domo en función de la mayor o menor resistencia a la erosión que tiene la roca que corresponde al domo en relación a la dureza de las rocas sedimentarias que lo rodean.

7.5.5 **Diseño de drenaje Radial.-** Se caracteriza porque los ríos parten de un centro y fluyen en forma divergente o radial, siguiendo la inclinación del relieve. (Figura 7.27)

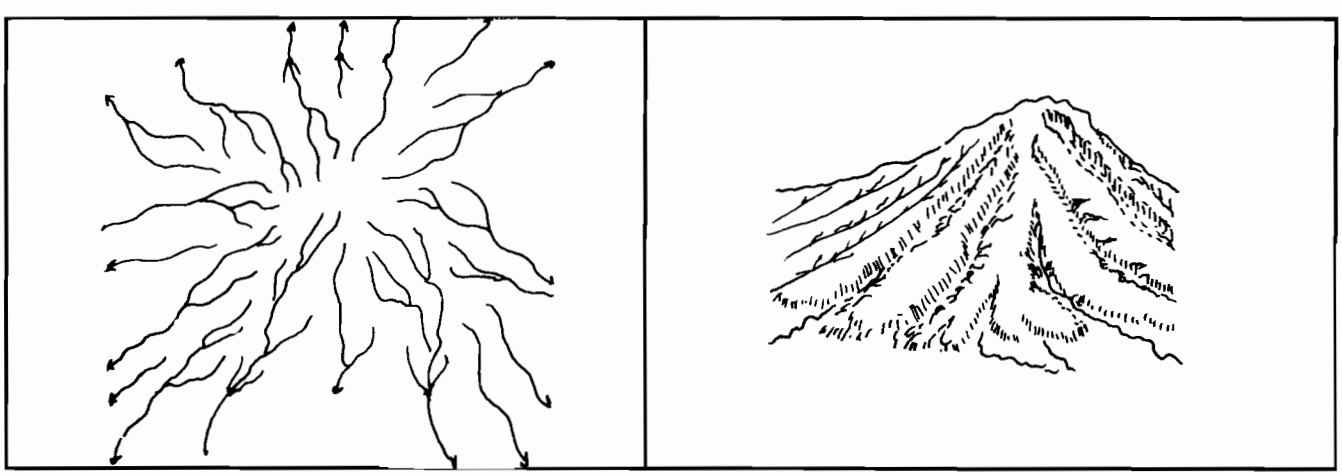


FIGURA 7.27 Diseño de drenaje Radial

Generalmente se desarrollan en montañas, colinas o cerros aislados de forma cónica, por lo tanto es un diseño que no sugiere control de tipo estructural, por el contrario se halla influenciado en su desarrollo por la inclinación de las laderas de las indicadas formas cónicas.

Por efecto de la intensa erosión, puede darse el caso que diferentes tipos de estructuras geológicas, como remanentes de estratos horizontales, estructuras homoclinales, anticlinales y sinclinales estrechos, adopten la forma de cerros aislados de forma cónica. (Figura 7.28)

Conos volcánicos, cuerpos intrusivos menores (stocks), domos, son reconocidos por su asociación con el drenaje radial, (Modelos estereoscópicos 51, 52, 53 y 54), sin embargo, ello no significa que el drenaje radial sea utilizado como un criterio determinante para aseverar que donde este diseño se halle presente, necesariamente debe estar relacionado con la presencia de conos volcánicos o domos.

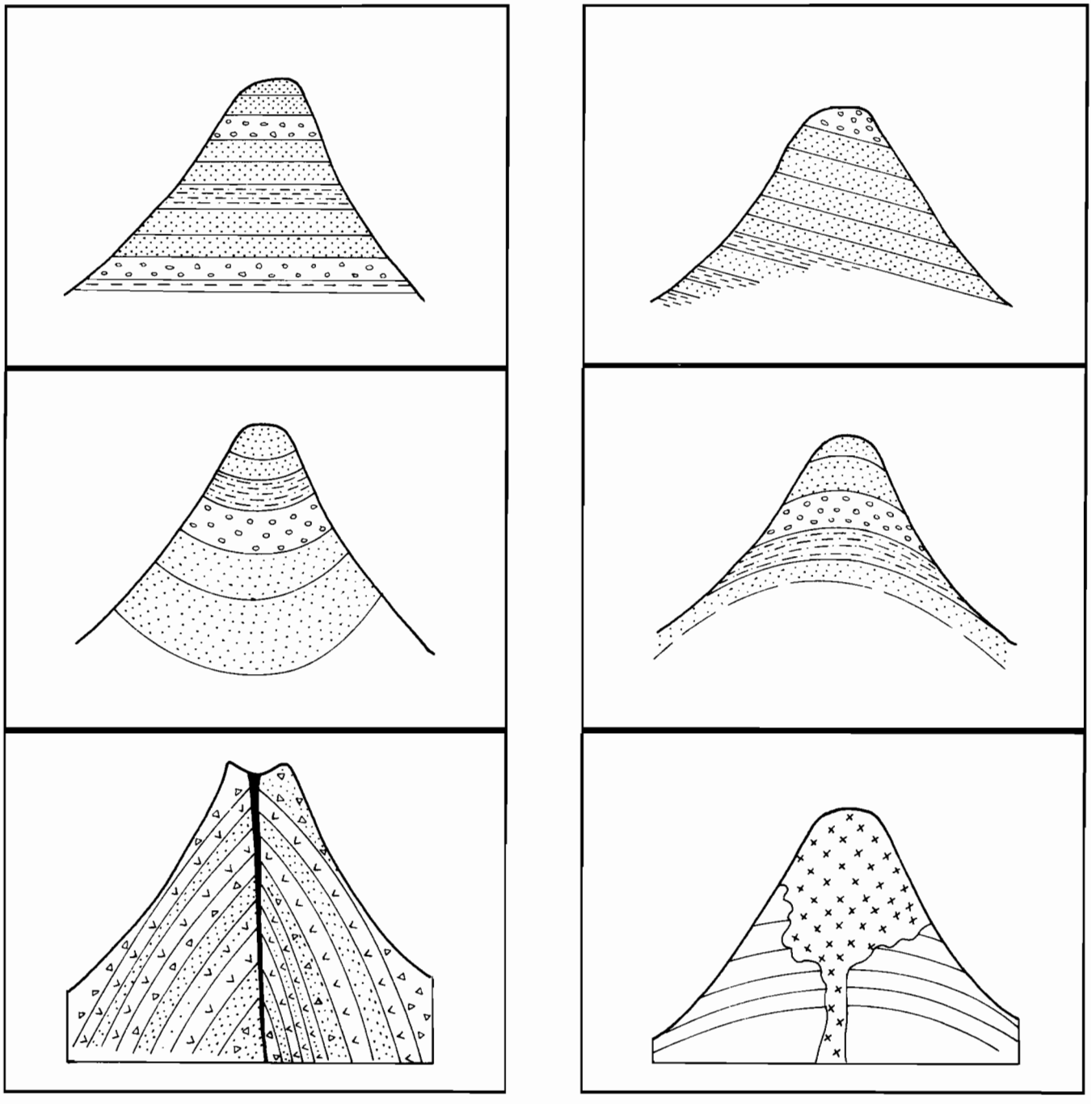


FIGURA 7.28 Drenaje Radial desarrollado en centros dê forma cónica , asociados a diferentes tipos de estructura

7.5.6 **Diseño de drenaje Centripetal.-** Los ríos que integran este drenaje convergen hacia una depresión central.(Figura 7.29)

La dimensión y extensión que tiene este drenaje puede ser muy local o regional. En el primer caso, se encuentra asociado con cráteres, calderas volcánicas, estructuras dómicas, en las que el núcleo está constituído por rocas de menor resistencia a la erosión que las rocas que lo circundan, que desarrollan depresiones asociadas con este drenaje. Estructuras sinclinales muy símetricas, a veces denominadas cuencas sinclinales o cubetas sinclinales también desarrollan este drenaje, como el sinclinal de Maragua, ubicado en el departamento de Chuquisaca-Bolivia. (Modelo estereoscópico 21).

El drenaje centripetal de extensión regional se halla asociado con cuencas endorreicas, de dimensiones considerables, como las del Altiplano boliviano, en especial las del Lago Titicaca, Poopo y Salar de Uyuni, otras cuencas más pequeñas son las intramontanas como las de Cochabamba, Tacsara, Yunchará, La Paz y otras. (Figura 7.22)

Algunos autores consideran al drenaje centripetal como una variedad o modificación del drenaje radial.

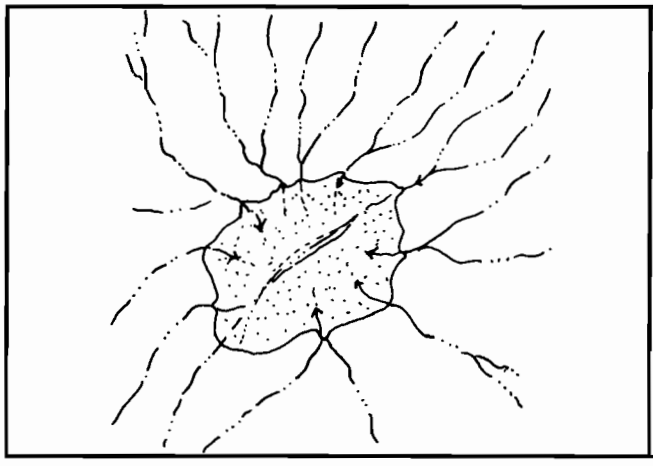


FIGURA 7.29 Diseño de drenaje Centripetal

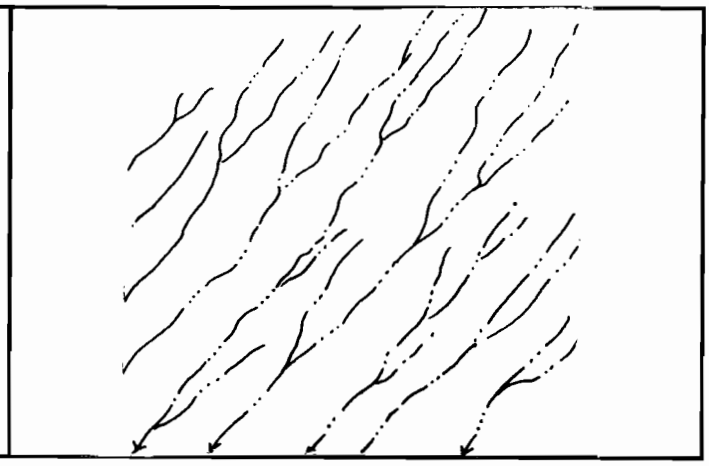


FIGURA 7.30 Diseño de drenaje Paralelo

7.5.7 **Diseño de drenaje Paralelo.-** Este drenaje presenta un sistema de ríos uniformemente espaciados y relativamente paralelos que fluyen sobre pendientes de inclinación moderada, de gran extensión regional, como las que corresponden a planicies o llanuras costeras recientemente emergidas, llanuras lacustres, superficies glaciares remodeladas. (Figura 7.30)

Genéticamente los ríos corresponden a ríos consecuentes.

Anteriormente, al definir el diseño Parrilla se había remarcado que la escala era un factor muy importante para identificar a este diseño, por la extensión regional que él tiene. Si el diseño principal de una región es el Parrilla y los ríos tributarios resecuentes y obsecuentes, son de dimensiones apreciable y ocupan una fotografía aérea, puede ser considerado como un drenaje paralelo pero de carácter muy local, limitado solo a una parte del drenaje principal que es el Parrilla.

7.5.8 **Diseño de drenaje Anarquico.-** También denominado irregular es un diseño mal integrado, de poca uniformidad, con características de drenaje muy joven en terrenos recientes.

Se caracterizan por cursos de ríos irregulares, sin orientación, ni relación y comunicación entre si, que fluyen hacia y fuera de lagunas o pantanos, con muy pocos tributarios de longitudes muy pequeñas. (Figura 7.31).

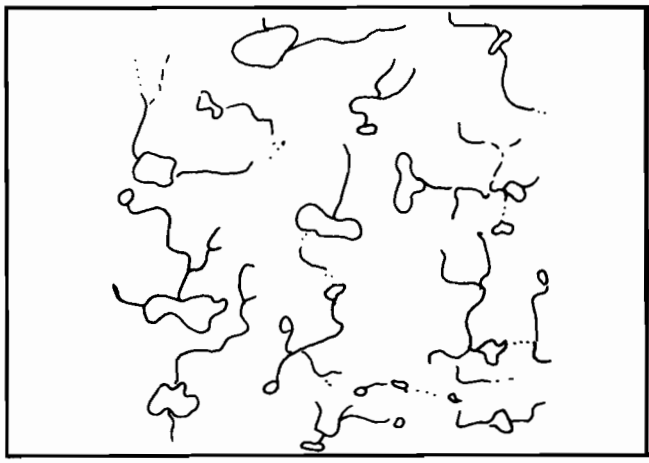


FIGURA 7.31 Diseño de drenaje Anárquico

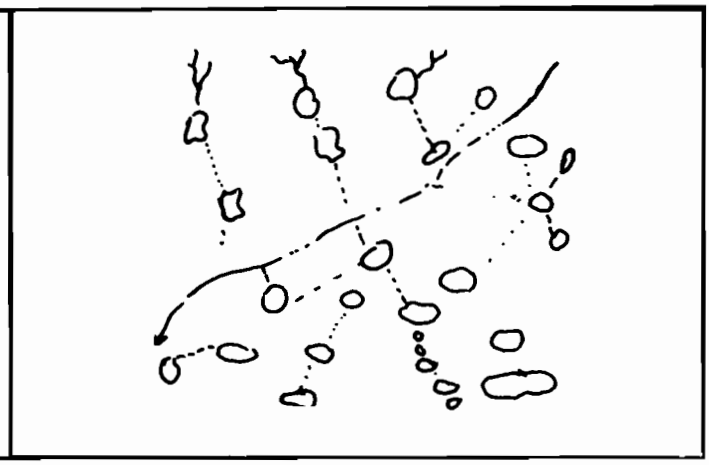


FIGURA 7.32 Diseño de drenaje Múltiple de Cuenca

El nombre de este diseño se reserva para referirse al drenaje que se desarrolla sobre depósitos glaciales, que han cubierto la anterior superficie, habiendo borrado o destruido el drenaje preglacial, de manera que este nuevo drenaje no muestra ninguna relación con la roca y estructura subyacente. Esta condición existe en áreas donde el retroceso de los mantos de hielo es reciente, como las de la regiones cubiertas por la ultima glaciación continental, asociado con paisaje de morrenas, llanuras de till, paisajes de hoyos y lomadas (Kettle - hole).

7.5.9 **Diseño de drenaje Múltiple de Cuenca.-** A. D. Howard, emplea el nombre de drenaje Multiple de Cuenca para referirse a aquellos diseños formados por diferentes procesos y que son extremadamente similares en su apariencia. En este caso, sería un error, basarse solamente en la apariencia que tiene el diseño, para obtener información sobre las características del área donde existe dicho drenaje.

La apariencia o configuración que muestra este drenaje es similar a la del drenaje Anárquico, pero su desarrollo se halla asociado a otras condiciones.

Entre los procesos que dan lugar al desarrollo de este diseño, se pueden señalar a los siguientes:

- Procesos de disolución en regiones templado húmedas, tropicales y subtropicales, que actúan sobre rocas solubles como calizas y yesos, dan lugar a un paisaje tipo Karst, desarrollando un drenaje que se caracteriza por mostrar una serie de depresiones; desde formas circulares, elipsoidales, hasta alargadas en forma de valles, que comunmente se las conoce con el nombre de topografía de Dolinas Uvalas y Poljes.

- Muchas de estas depresiones se hallan alineadas, en las que los ríos aparecen, se pierden y reaparecen, dando un típico diseño que otros autores lo denominan Drenaje Interno (Figura 7.36)

- Generalmente estas dolinas se hallan alineadas a lo largo de diaclasas o sistemas de fallas, las formas son redondeadas y sus diámetros varían y se hallan en función del grado de solubilidad de la roca.

- Sobre depósitos poco consolidados, de textura heterogénea, e insolubles, se desarrolla un diseño muy parecido al arriba mencionado, aunque en este caso las depresiones son pequeñas, más irregulares en forma y menos profundas, dependiendo de la naturaleza de los depósitos, y fracturas existentes.

- Otro proceso que puede también desarrollar un diseño similar, ocurre en áreas periglaciares, en las que habría existido algún efecto de fenómenos similares al de Permafrost, en el que suelos probablemente congelados, han sido descongelados. A veces se prefiere denominar a este diseño como Pseudo-Karst. Un modelo similar al Pseudo - Karst es el que se observa en los modelos estereoscópicos 22, 31 y 43, en cuyo desarrollo posiblemente tienen mucha importancia los depósitos arcillosos de origen lacustre asociados con algunos niveles de yesos.

- Procesos de Termokarst, donde existe la evidencia de la existencia de procesos de Permafrost, tales como suelos poligonales.

7.5.10 **Diseño de drenaje Trenzado.-** Este diseño de cursos de ríos individuales, se caracterizan porque el curso principal del río se divide en varios canales entrelazados y separados unos de otros por los depósitos dejados por el mismo río, (Bancos de arena, gravas, etc.) adquiriendo ese aspecto trenzado de donde le viene el nombre al diseño. (Figura 7.33, modelos estereoscópicos 55 y 56).

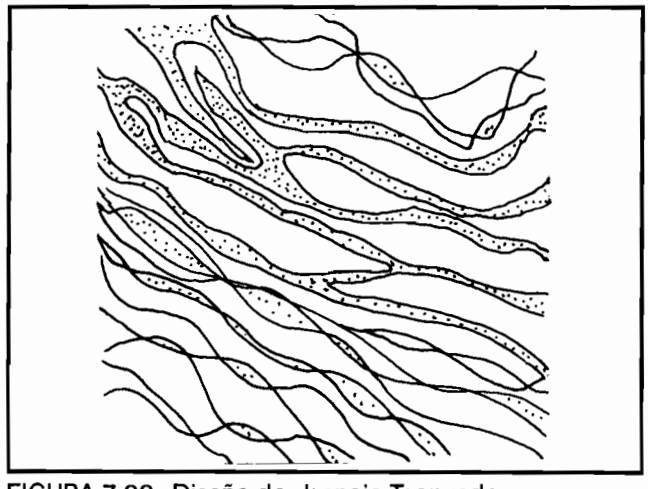


FIGURA 7.33 Diseño de drenaje Trenzado

Generalmente se hallan asociados con llanuras aluviales de curso múltiple, de regiones semiáridas y áridas.

Varios investigadores han llegado a la conclusión que la causa para el desarrollo del drenaje trenzado, se debe a condiciones de una alta descarga variable en los ríos con bancos fácilmente

erodables que suministran una abundante carga. Estos factores dan lugar al desarrollo de una alta velocidad local acompañada de turbulencia, que permite al río realizar su trabajo. En síntesis la causa para que ocurra este diseño es la proporción de carga del lecho del río con la descarga disponible, en el que también influye la disminución repentina de la gradiente del río.

A objeto de no crear confusiones, se prefiere dejar de utilizar el término "Anastomosado" que algunos autores utilizan para designar este diseño, ya que otros utilizan el mismo nombre para referirse al diseño meándrico.

7.5.11 **Diseño de drenaje Meándrico.-** Este segundo diseño de cursos individuales de ríos, se caracteriza por presentar canales que tienen la tendencia de desarrollar curvas, que parecen ser proporcionales al tamaño de sus canales. Como la mayoría de los cursos de ríos son sinuosos, se utiliza el término meandro para referirse a aquellos cursos que muestran curvas de considerable simetría, con un determinado valor de radio de curvatura. (Figura 7.34, modelos estereoscópico 57 y 58)

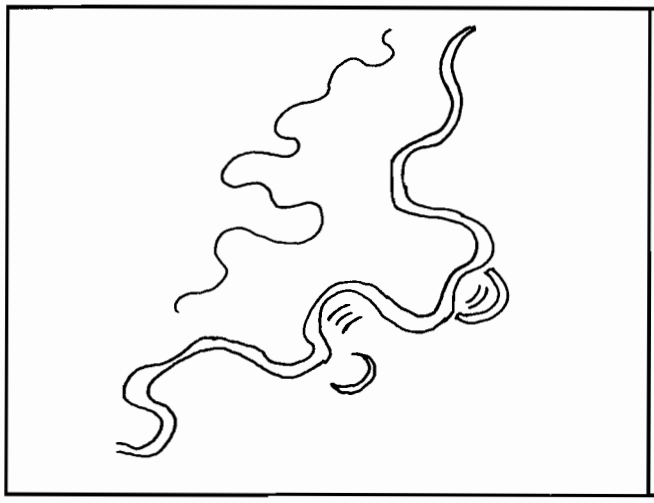


FIGURA 7.34 Diseño de drenaje Meándrico

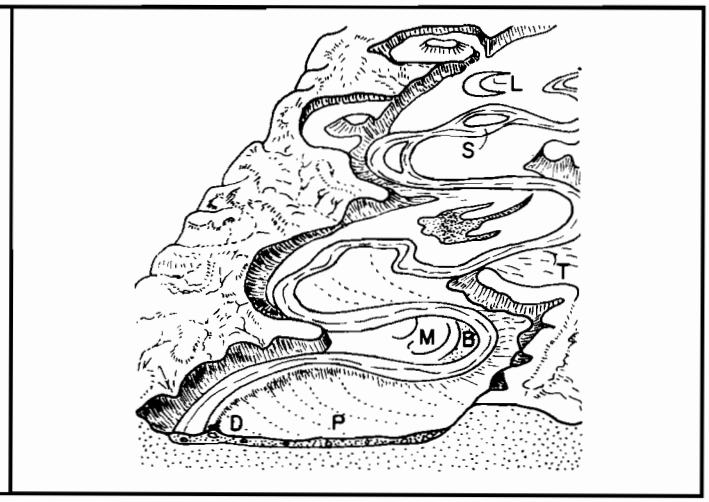


FIGURA 7.35 Depósitos de la Faja de Meandros:D = Diques naturales (Albardones) M = Cicatrices de Meandros L = Laguna semilunar, B = Bancos de Meandros, P = Depósitos de pantano, S = Barras de Meandro.

Los depósitos y las formas existentes en las llanuras aluviales asociados con ríos meándricos, corresponden a los llamados Depósitos de la Faja de Meandros, (Figura 7.35) entre los que se pueden mencionar a los siguientes:

a) Diques naturales o albardones naturales

b) Barras de meandro

c) Rellenos de cauce abandonados

d) Cicatrices de Meandros y meandros abandonados

e) Lagunas semilunares (Ox bow lakes)

d) Depósitos de pantano fluviales

7.5.12 **Diseño de drenaje Dicotómico.-** Llamado también Distributivo, se desarrolla cuando un río muy cargado emerge de las montañas y desciende a terrenos bajos, se produce un cambio en la gradiente del río, dando lugar a que el río empiece a depositar su carga, provocando que dicho material acumulado obstaculice al flujo del río, impediendo que el río siga su curso original, dando lugar a que el río se divida o distribuya en varias corrientes que corren sobre la superficie en forma radial o centrífuga (Figura 7.36).

Este diseño, sugiere la presencia de abanicos aluviales y deltas, con una distribución heterogénea de los sedimentos depositados, de manera general los materiales de textura gruesa se hallan ubicados en el ápice del abanico, mientras que los finos se hallan en la parte distal. (Modelos estereoscópicos 1, 43, 59 y 60)

7.5.13 **Diseño de drenaje Complejo.-** En algunos casos, por la compleja estructura geológica e historia geomórfica de una región, el diseño de drenaje, que se desarrolla, muestra tantas variaciones en el conjunto de ríos, que es imposible compararlo con los diseños ya descritos, razón por la cual se prefiere designar a este diseño con el nombre de drenaje complejo.

7.5.14 **Diseño de drenaje Palimsesta.-** A. D. Howard, designa con el nombre de drenaje Palimsesta, a aquel drenaje muy reciente que se desarrolla sobre un drenaje antiguo abandonado.

La Figura 7.37, muestra un drenaje meándrico antiguo sobre el que se desarrolla un nuevo drenaje de tipo radial.

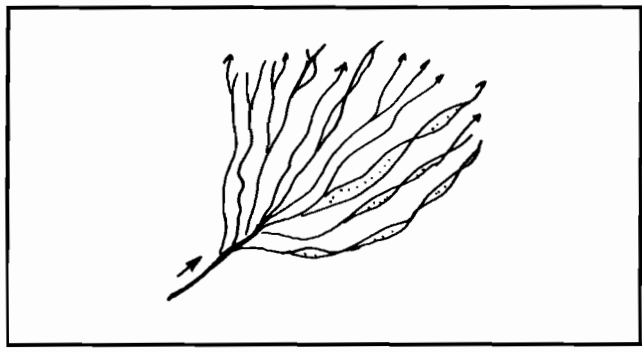


FIGURA 7.36 Diseño de drenaje Dicotómico o Distributivo

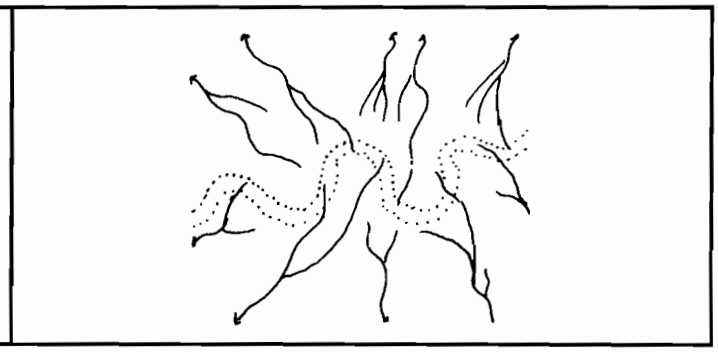


FIGURA 7.37 Diseño de drenaje Palimsesta

7.6 ANOMALIAS DE DRENAJE

Anomalía de drenaje es la desviación local del drenaje regional o del diseño individual de un río. En otros términos significa que las características de un río o un sistema de ríos que se observan en un área, no coinciden o corresponden a las características del tipo de drenaje que predomina en esa área.

Describir todas las posibilidades de las anomalías de drenaje que podrían existir, prácticamente sería imposible, ya que las combinaciones posibles son demasiadas, por ello se tratará de citar a continuación las más comunes e importantes:

1) Alineación del drenaje, que sugiere la presencia de fallas, diaclasas, fracturas o contactos entre rocas de diferente resistencia a la erosión. La alineación de drenaje puede ser de dos tipos:

   a) Alineación de varios segmentos de ríos (Figura 7.38.)

   b) Alineación de un solo curso de río.

   La identificación de la alineación de varios segmentos de ríos, en algunos casos puede tener alguna dificultad, especialmente, si los segmentos alineados de los ríos son muy cortos y además ellos forman parte de un drenaje dendrítico. Los modelos estereoscópicos 5, 7, 26, 48, 61, 62 muestran varios ejemplos de este tipo de anomalía de drenaje.

   El alineamiento del curso de un solo río, generalmente se caracteriza por el diseño rectilíneo, que no corresponde al diseño general del drenaje del área. (Modelos estereoscópicos 10, 37, 49, 62, 63, 64, 65 y 66)

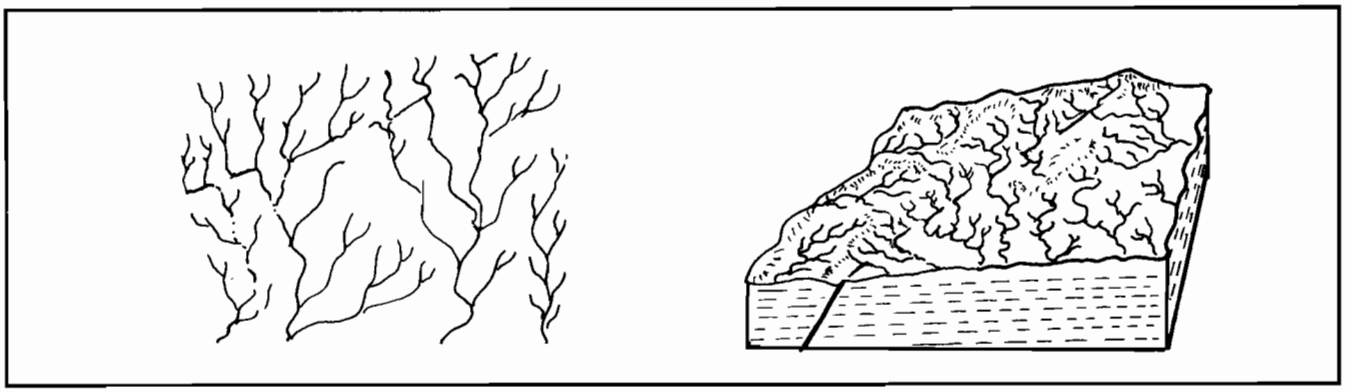


FIGURA 7.38 Alineamiento de segmentos de ríos

2) Cursos de ríos que muestran deflexiones en forma de arcos orientados en forma paralela, sugieren cierres de estructuras anticlinales o sinclinales. (Figura 7.39.a, modelos estereoscópicos 23, 33, 35 y 50) Si los indicados arcos se hallan orientados en forma opuesta sugieren cierres de estructuras plegadas con doble hundimiento.(Figura 7.39.b)

3) La Angularidad, puede ser considerada una anomalía de drenaje, cuando ella ocurre en áreas donde el diseño de drenaje que predomina, no corresponde a un drenaje debido a control estructural por fallamiento o diaclasamiento. (Figura 7.40, modelos estereoscópicos 33, 42, 43 y 67)

4) Cambios en el diseño de un meandro, a lo largo de su curso, caracterizado por mostrar en sectores a meandros comprimidos, puede sugerir cambios en la litología, o presencia de fallas (Figura 7.41)

5) Cambios abruptos en la densidad de drenaje, pueden indicar la presencia de diferentes tipos de litología.(Figura 7.3, modelo estereoscópico 30)

6) Captura de ríos sugieren movimientos recientes muy lentos de la corteza, aunque la posibilidad no estructural también debe ser tomada en cuenta.

7) Arreglo lineal de manantiales, aguas termales, dolinas, pueden indicar presencia de fallas, fracturas o diaclasas a una cierta profundidad o en superficie.

8) Formas regulares de lagos especialmente cuando uno o más bordes presentan alienación muy marcada, pueden ser debido a algún control estructural debido a fallamiento, o control de basamento. (modelos estereoscópicos 68)

9) Modificación local del diseño de un curso individual: a) En un paisaje de relieve plano, se puede considerar como anomalía de drenaje a aquel curso de un río de diseño rectilíneo, que cambia localmente a un diseño meándrico. Puede sugerir la presencia de alguna estructura dómica en el subsuelo. (Figura 7.42.a). b) El mismo efecto, puede dar lugar a que el drenaje cambie localmente a un diseño trenzado (Figura 7.42.b) que podría sugerir algún efecto relacionado con la disminución de la gradiente, como consecuencia de algún factor geológico.

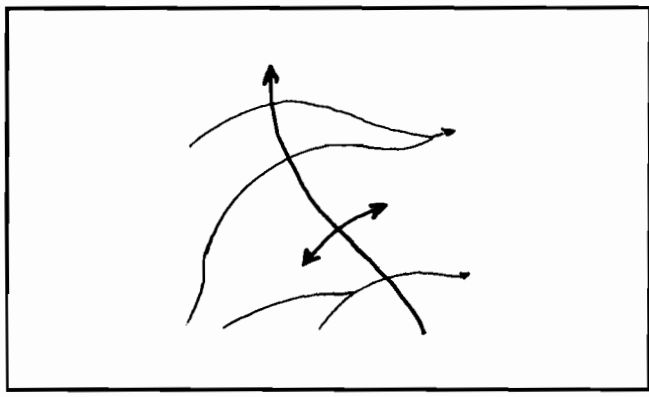


FIGURA 7.39.a. Deflección de ríos en forma de arcos paralelos

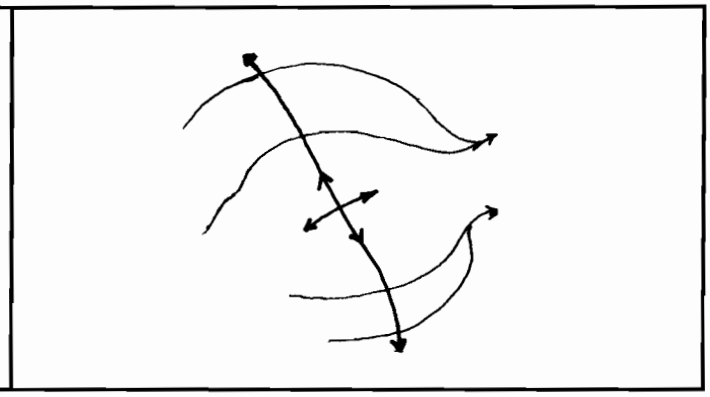


FIGURA 7.39.b. Deflección de ríos en forma de arcos opuestos

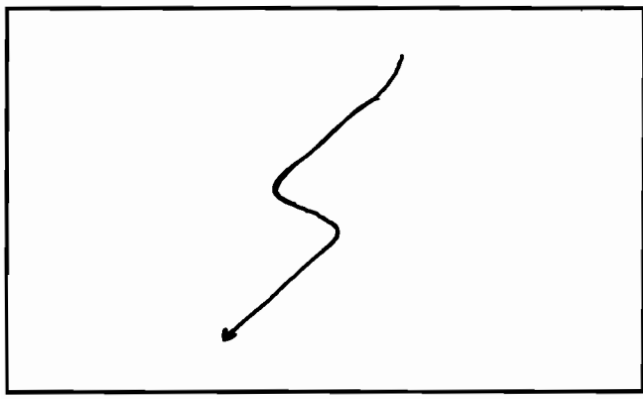


FIGURA 7.40 Angularidad

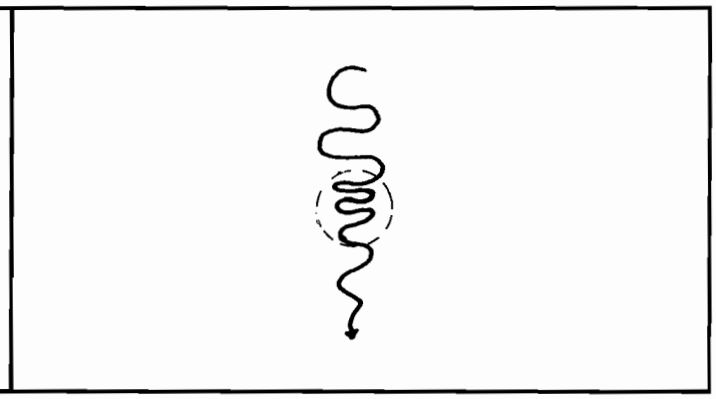


FIGURA 7.41 Meandros comprimidos

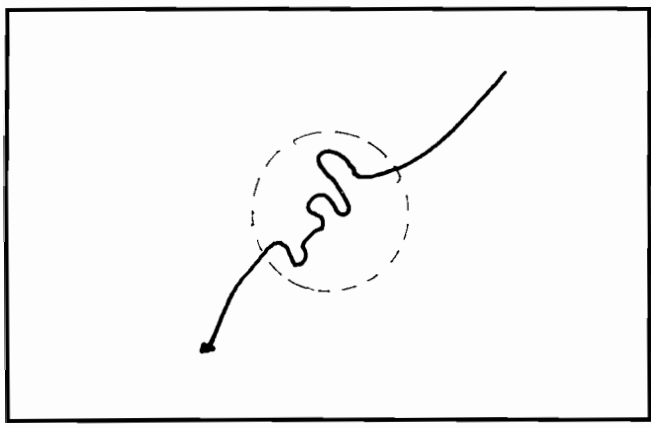


FIGURA 7.42.a. Meandros locales

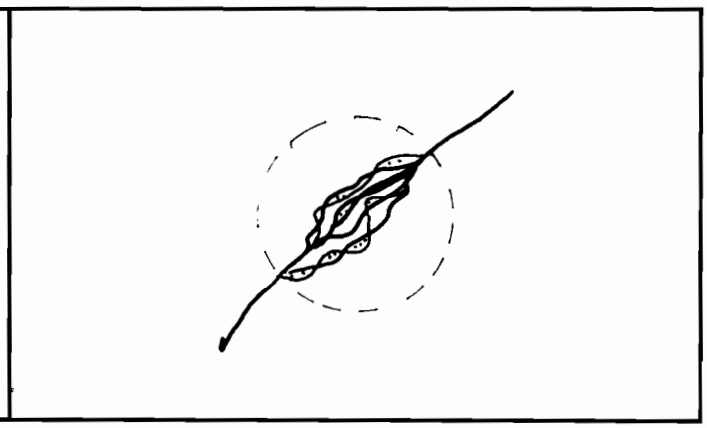


FIGURA 7.42.b. Diseño trenzado local

10) Contención estructural, que ocurre en regiones de relieve plano, cuando un río fluye en dirección transversal a una estructura anticlinal, que produce un suave combamiento del relieve plano, causando obstrucción del drenaje, que da lugar a la formación de pantanos o lagunas. (Figura 7.43)

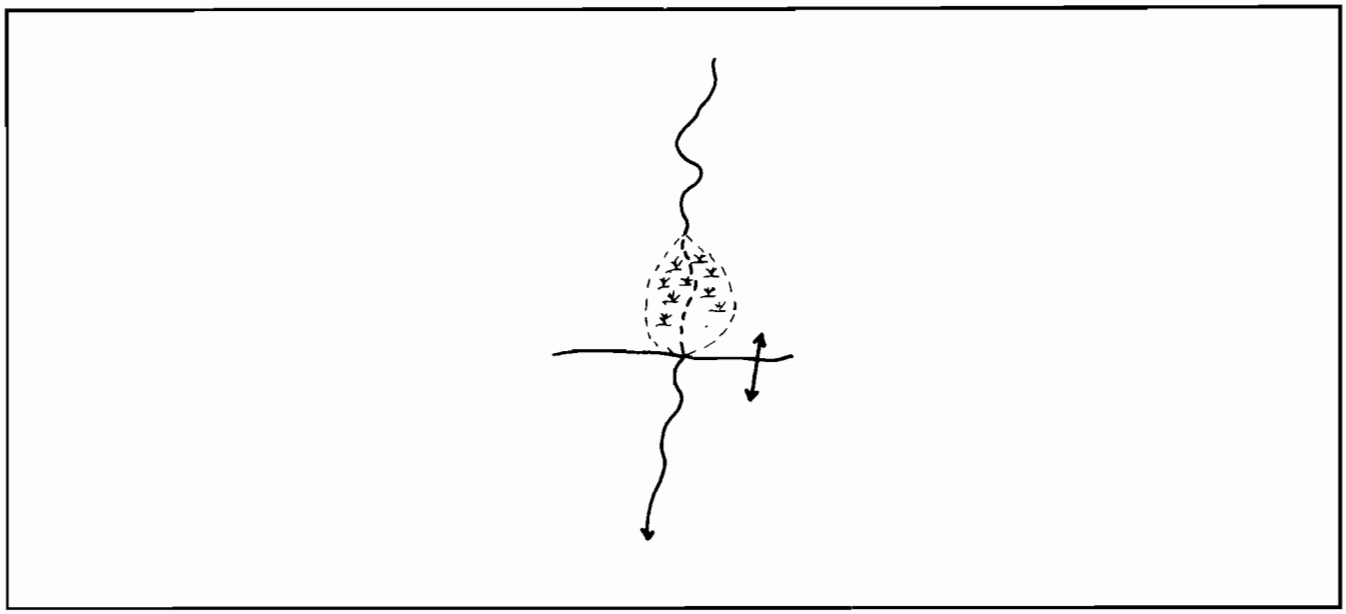


FIGURA 7.43 Contención estructural

11) Interrupción del curso del río por infiltración o solución que sugiere la presencia de material de textura gruesa en el primer caso o de rocas solubles en el segundo caso.(Modelo estereoscópico 68)

12) El drenaje que predomina en una región es considerado el normal, en otras áreas puede ser considerada una anomalía si el drenaje que predomina corresponde a otros diseños. Ejemplos:

a) Drenaje Radial con predominancia de otro diseño como el parrilla, rectangular o dendrítico.

b) Drenaje Centripetal, en las mismas condiciones que en el caso anterior.

c) La combinación de un diseño radial con diseño anular, en áreas de cualquier tipo de relieve, puede ser un importante criterio para identificar conos volcánicos, cuerpos intrusivos menores y estructuras dómicas. (Figura 7.44, modelos estereoscópicos 69 y 11)

13) La forma circular o semicircular que adopta un río, sugiere la presencia de cuerpos intrusivos de forma dómica.(Modelo estereoscópicos 44, 70 y 71 y figura 7.44)

14) Alineamiento de saltos de agua, cascadas, desarrollados en áreas donde la roca es homogénea y de buzamientos bajos a horizontales, puede sugerir la presencia de zonas de falla.

15) Alineamientos de ríos transversales a morrenas laterales pueden ayudar a la ubicación de zonas importantes de fallamiento reciente. (Modelos estereoscópicos 7 y 61)

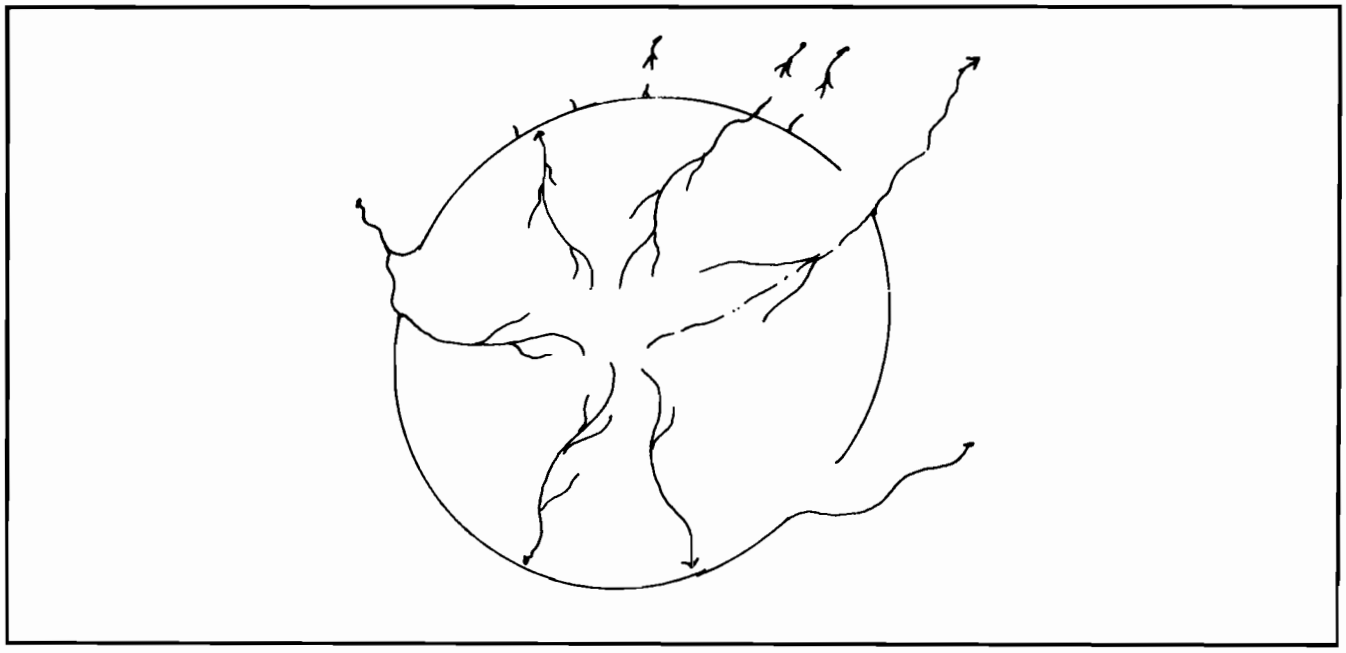


FIGURA 7.44 Radial anular

De acuerdo a las anomalías descritas se puede establecer, que en el análisis de drenaje, es importante identificar los diferentes tipos de anomalías, ya que constituyen un auxiliar básico para completar la información geológica que se puede obtener de las fotografías aéreas, en cualquier condición de relieve.

En regiones donde las diferencias del relieve son marcadas y en el cual los rasgos geológicos se hallan bien expuestos, las anomalías complementan y mejoran la información.

En regiones de relieve plano sin exposición de rocas y estructuras geológicas que se hallan cubiertas por depósitos muy recientes, suelos o vegetación, el único criterio que puede permitir obtener información geológica, es por el estudio del drenaje y anomalías del drenaje.

7.7 LA CUENCA DE DRENAJE

El geólogo y el geomorfólogo no solo deben considerar al sistema de ríos como parte de un diseño de drenaje, es también importante que ellos sean estudiados como parte de su unidad fundamental que es la Cuenca de drenaje

La Cuenca de drenaje es un área completa que con el suministro de su escorrentía mantiene parte o la totalidad del flujo de los ríos que pertenecen a ella. En otras palabras una cuenca de drenaje representa al área drenada por un río y sus tributarios, limitada por una divisoria la cual la separa de otras cuencas. (Figura 7.45)

La necesidad de estudiar la cuenca de drenaje como una unidad se debe a los siguientes motivos:

- Para expresar las características de la cuenca en términos cuantitativos.
- La delineación de la forma de la cuenca y subcuencas tiene su importancia por la aplicación que puede tener en la solución de problemas relacionados con ingeniería de

control de ríos, en la ingeniería de abastecimiento de aguas, en la estimación y control de inundaciones, en estudios para la ubicación de sitios de presa, para el diseño de carreteras, para el estudio de la dimensión y volúmenes de la contaminación de las aguas de los ríos, para el manejo de cuencas.

- Por estudios de varios investigadores, se ha llegado establecer, que cuencas de drenaje con formas geométricas como circulares, triangulares, elongadas, producen hidrogramas, que sirven de ayuda a la resolución de los problemas mencionados anteriormente.

- El análisis morfométrico mediante medidas realizadas en la cuenca y subcuencas permite su representación en forma de gráficos, los cuales admiten una comparación entre si.

- Analizar la relación entre la forma y los procesos geomorfológicos en la cuenca.

La morfometría, tiene por finalidad realizar medidas en base a las diferentes formas que tienen las cuencas de drenaje, cuyos valores pueden luego ser comparados.

Para los propósitos de comparación, tanto entre los ríos de una cuenca de drenaje con otras cuencas, se ha utilizado un método por el cual los ríos de una cuenca pueden ser clasificados de acuerdo a una jerarquía en los ríos, que generalmente es denominado "Ordenamiento de ríos" significando que los ríos pueden ser ordenados de acuerdo a un sistema que fue propuesto por Horton (1945) quien considera que existe un desarrollo ordenado del drenaje de acuerdo a un grupo de leyes que las denominó Leyes de Composición del drenaje.

Muchos investigadores basados en el trabajo de Horton (op.cit) han propuestos diversos sistemas para realizar el ordenamiento de ríos, el más utilizado, por ser muy objetivo y práctico es el propuesto por Strahler (1957), quien clasifica a los ríos de la siguiente manera:

- Los ríos tributarios más pequeños que nacen en las cabeceras de un sistema de ríos, son designados ríos de primer orden. (Figura 7.45)

- Dos ríos de primer orden que se unen, forman un segmento de río de segundo orden (Figura 7.45).

- Dos ríos de segundo orden forman uno de tercer orden y así sucesivamente.

- De manera que el río principal o mayor al que desembocan todos los ríos, corresponderá al río del orden más alto. En la figura 7.45, el río de quinto orden es el de mayor orden por lo tanto la cuenca de drenaje será una cuenca de quinto orden.

De acuerdo a la ley de composición del drenaje, Horton establece que el número de ríos de diferentes órdenes en una cuenca disminuye conforme el orden de los ríos aumenta, correspondiendo a una función exponencial negativa. Si en un gráfico semilogarítmico se representan en abcisas el orden de los ríos y en ordenadas el número total de ríos de cada orden, se obtendrá invariablemente un línea recta. (Figura 7.46)

En base a los datos ploteados anteriormente es posible establecer una relación denominada Relación o Coeficiente de bifurcación que se la define como la relación entre el número de ríos de un orden dado y el número de ríos del próximo orden inferior. (Cuadro 7.2)

De igual manera, ocurrirá si en vez del número de ríos se mide la longitud de los ríos de cada orden en forma separada para obtener las longitudes totales de los ríos en cada orden, con el propósito de calcular la longitud promedio de los ríos en cada orden.

Con estos datos se puede apreciar que la longitud promedio de los ríos de cada orden aumenta exponencialmente conforme el número de orden sube.

El propósito del ordenamiento de los ríos, no solo tiene como objeto obtener una idea del número, tamaño y escala de los ríos y cuencas de drenaje, sino sirve también para estimar en forma aproximada la cantidad de caudal que puede producir una red particular de drenaje en una cuenca.

Si todos los factores que influyen en el desarrollo de una red de drenaje fueran constantes, el orden de la cuenca debería estar directamente relacionado al tamaño de red de drenaje y conforme el orden del río aumenta, debería estar asociado con valores más grandes de caudal. Sin embargo, el método de ordenamiento propuesto por Strahler, tiene una limitación para este propósito.

A pesar de ello, la ley de composición propuesta por Horton, puede ser utilizada con el ordenamiento de ríos que Strahler propone.

Otros valores que pueden ser calculados en una cuenca de drenaje, son los que corresponden a los relacionados con el área de drenaje, densidad de drenaje, frecuencia de drenaje (Cuadro 7.2) relación de compacción, constante de mantenimiento del canal, factores de forma como la relación de circularidad, relación de relieve, el índice o número de rugosidad. Para el conocimiento detallado sobre este tema, se sugiere acudir a la lectura de los trabajos relacionados con este tema, en especial los de Horton (1945), Strahler (1957), Shreve (1957), Schumm (1961) Scheidegger (1965), Woldenberg (1967), Lewin (1970).

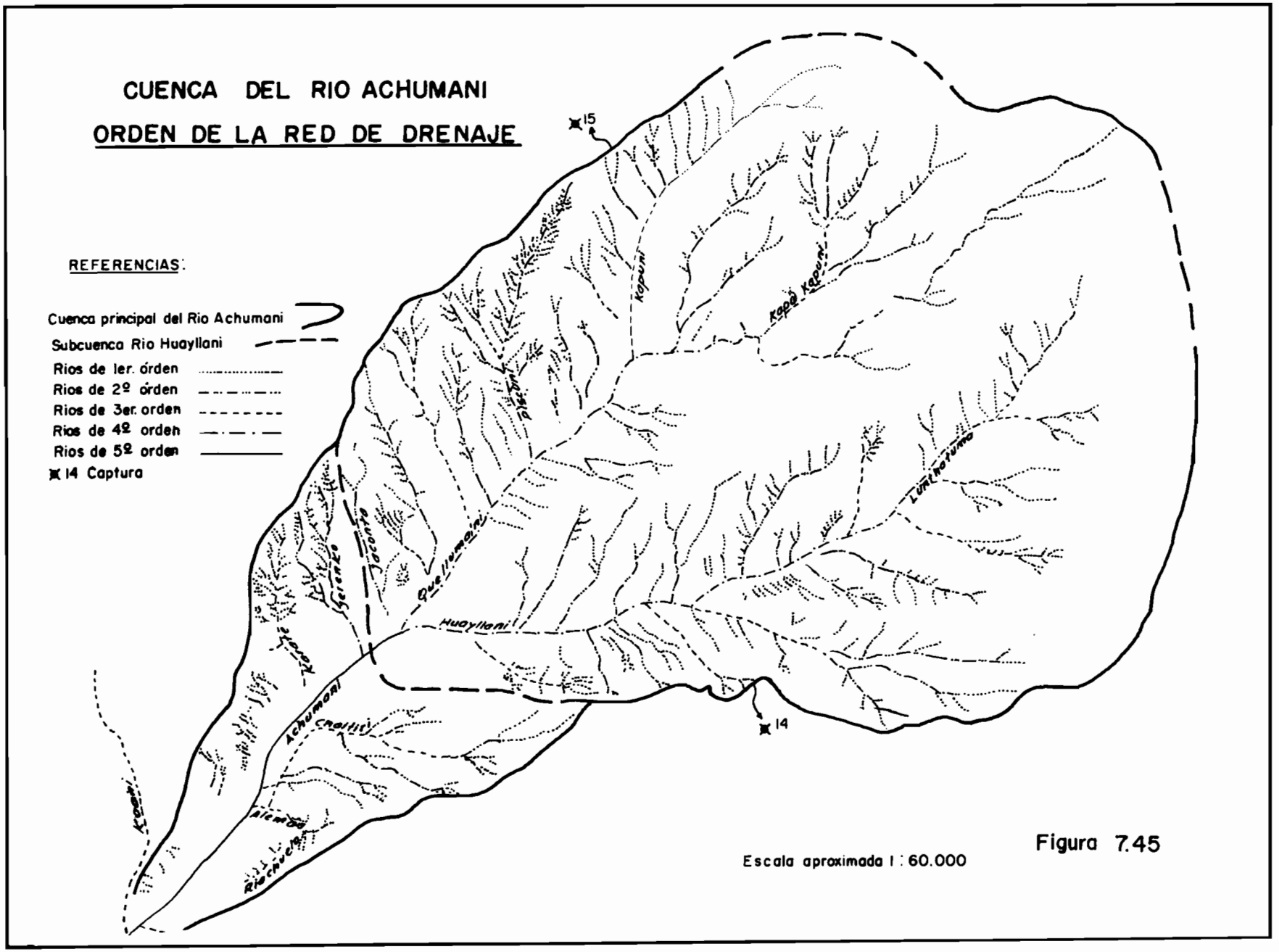

CUENCA DEL RIO ACHUMANI
ORDEN DE LA RED DE DRENAJE
REFERENCIAS:
Cuenca principal del Rio Achumani
Subcuenca Rio Huayllani
Rios de 1er. órden
Rios de 2º órden
Rios de 3er. orden
Rios de 4º orden
Rios de 5º orden
14 Captura
15
14
Huayllani
Achumani
Escala aproximada 1 : 60.000

Figura 7.45

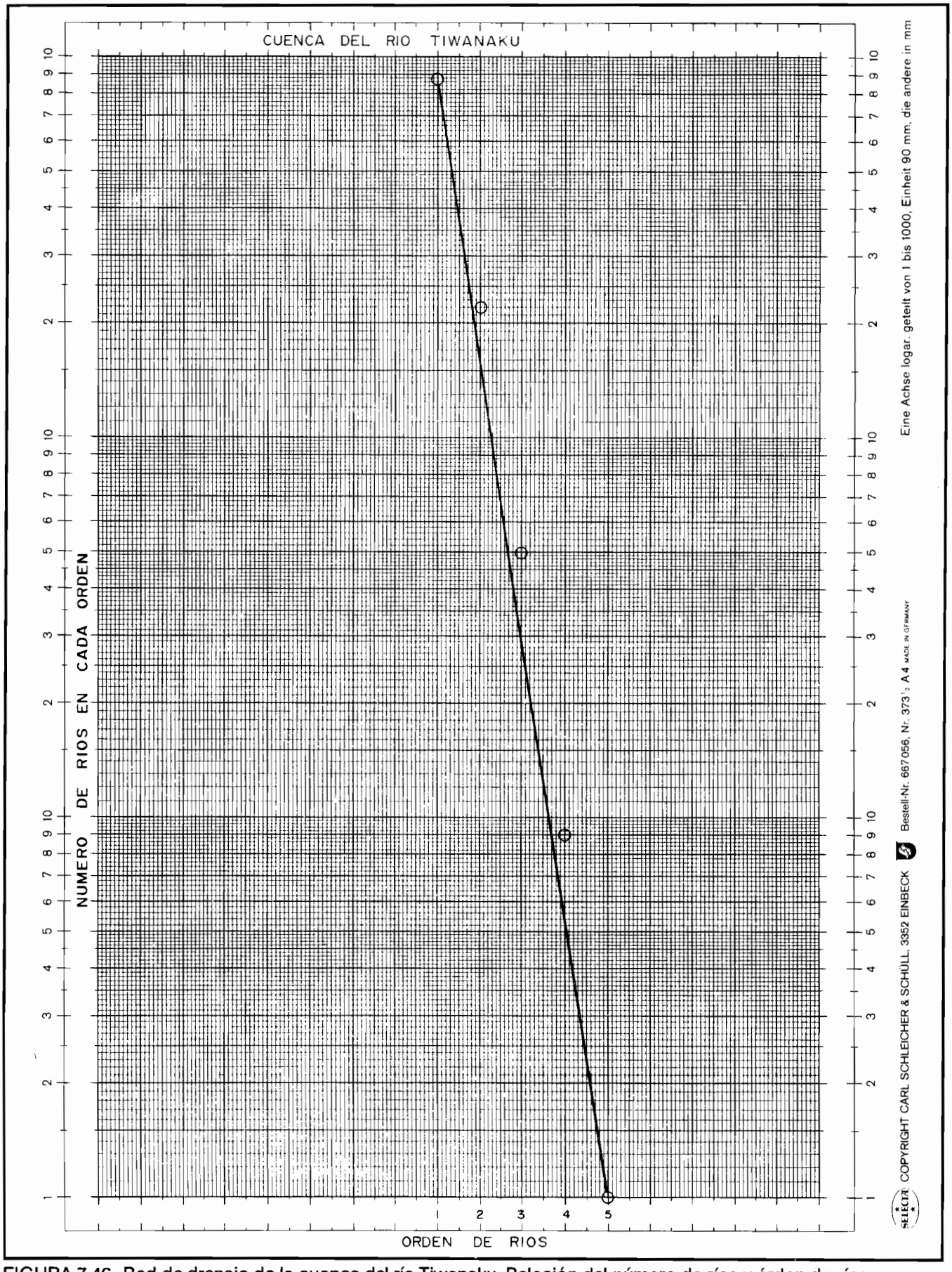


FIGURA 7.46 Red de drenaje de la cuenca del río Tiwanaku. Relación del número de ríos y órden de ríos.

C U A D R O 7.2.

ASPECTOS LINEARES Y AREALES DE LAS SUBCUENCAS DE LA CUENCA DEL RIO TIWANAKU

Nro de Subcuenca	Primer Orden	Segundo Orden	Tercer Orden	Cuarto Orden	Quinto Orden	Sexto Orden	Total	Coeficiente de Bifurcación		Longitud	Area	Densidad de Drenaje	Frecuencia de Drenaje
								1 - 2	2 - 3				
1	29	7					36	4.10		59.50	47.60	1.25	0.76
2	99	32	5				136	3.00	6.40	135.50	42.40	3.19	3.21
3	12	3	1				16	4.00	3.00	13.20	3.40	3.88	4.70
4	28	5	1				34	5.60	5.00	33.80	15.40	2.19	2.21
5	90	18	4				112	5.00	4.50	76.40	26.70	2.86	4.19
6	40	8	2				50	5.00	4.00	40.00	15.80	2.53	3.16
7	22	5	1				28	4.40	5.00	16.90	5.00	3.38	5.60
8	52	15	2	1			70	3.50	7.50	75.50	36.20	2.08	1.93
9	61	13	3	1			78	4.70	4.30	85.00	53.30	1.59	1.46
10	5	1					6	5.00		6.00	2.60	2.31	2.31
11	5	1					6	5.00		8.50	4.50	1.88	1.33
12	20	4	1				25	5.00	4.00	25.00	11.80	2.12	2.12
13	13	1					14	13.00		10.70	4.50	2.38	3.11
14	23	8	3	1			25	2.90	2.70	51.50	25.70	2.00	1.36
15	12	4					16	3.00		15.80	5.20	3.04	3.07
16	14	5	2	1			22	2.80	2.50	29.70	10.00	2.97	2.20
17	10	2	1				13	5.00	2.00	14.40	4.90	2.94	2.65
18	14	3	1				18	4.70	3.00	29.70	12.40	2.39	1.45
19	11	3	1				15	3.70	3.00	19.30	7.10	2.72	2.11
20	39	10	4	2	1		56	3.90	2.50	66.60	29.00	2.30	1.93
21	13	4	1				18	3.20	4.00	17.60	11.30	1.56	1.59
22	84	19	4	1			108	4.40	4.80	127.30	66.30	1.92	1.63
23	28	9	2				39	3.10	4.50	59.70	39.50	1.51	0.98
24	80	23	6	1			110	3.50	3.80	134.50	69.50	1.93	1.58
25	44	11	3	1			59	4.00	3.70	93.40	69.90	1.34	0.84
26	9	3	1				13	3.00	3.00	14.00	6.00	2.33	2.16
27	3	2					5	1.50		3.60	3.80	0.94	1.31
28	7	1					8	7.00		4.50	1.10	1.09	7.27
29	7	1					8	7.00		1.10	10.05	1.09	0.79
30	1						1			1.80	1.90	0.94	0.52
31	4	1					4	4.00		4.00	2.80	1.43	1.43
32											36.70		
TOTAL	879	222	49	9	1								

CRITERIOS DE OBSERVACION FOTOGEOLOGICA (III) FORMA O CRITERIOS GEOMORFOLOGICOS

CAPITULO VIII

8.1 FORMA

La Forma o expresión geomorfológica es un criterio básico, en cualquier estudio fotogeológico, puesto que sin la ayuda de este criterio, en muchos casos sería imposible obtener información geológica, especialmente en aquellas áreas donde los rasgos geológicos no son visibles, ya sea debido al relieve que puede ser plano o a la presencia de una cubierta densa de vegetación.

En áreas con expresión morfológica muy marcada y gran cantidad de afloramientos de rocas y estructuras geológicas, existe en la mayoría de los casos, una estrecha relación entre la forma, el tipo de roca y la estructura geológica. Por ello, el empleo de la Forma como un criterio para la identificación de rocas y estructuras es fundamental y ello requiere que el fotogeólogo, posea un sólido conocimiento y experiencia en el campo de la geomorfología.

Existe cierto tipo de formas, cuyo origen y desarrollo no tienen ninguna relación con la influencia o control que pueda ejercer la roca o la estructura geológica, como el caso de aquellas que son el producto exclusivo de la acción de agentes y procesos fluviales, eólicos, de glaciación, etc, cuyos rasgos pueden ser identificados solamente en base a la forma observada.

La interrelación marcada que existe entre forma, geología y geomorfología, señala que los estudios geológicos y geomorfológicos son complementarios e inseparables, razón por la que es prácticamente imposible realizar la interpretación fotogeológica sin considerar criterios geomorfológicos.

En base a lo anteriormente expuesto, las formas pueden corresponder a dos grandes grupos:

a) Formas cuyo desarrollo y evolución geomórfica, se deben principalmente a la acción de diferentes agentes y procesos geomórficos. (Fluvial, eólico, glacial, marino) bajo la acción definida de ciertas condiciones climáticas.

b) Formas cuyo desarrollo ha sido controlado o influenciado por la roca y la estructura geológica o tectónica. (Geomorfología estructural)

En este capítulo, se presentarán solamente las características aéreofotográficas de las principales formas que corresponden al primer grupo. Las formas del segundo grupo serán discutidas de manera conjunta, con las características litológicas y estructurales, en el capítulo correspondiente al análisis estructural y análisis litológico.

Antes de entrar en la descripción de las principales formas del primer grupo, se presenta algunas consideraciones relacionadas con la definición de forma y la clasificación que se tomará como base para la descripción de ellas.

La Forma o geoforma es el producto final de la interacción entre uno o varios agentes y procesos geomórficos, que actúan sobre una variedad de rocas y/o depósitos recientes, durante largos y variados períodos de tiempo. Estos procesos están definidos por las condiciones climáticas, pero debido a que se halla involucrado el factor tiempo, los climas y los procesos que actuaron en el pasado, son con frecuencia de mayor significación que los que se hallan actuando en el presente. El efecto de los climas pasados sobre estos procesos pueden ser observados en muchas geoformas y paisajes actuales.

Generalmente las geoformas, bajo cualquier condición suministran información relacionada con su origen, estructura y litología, condiciones climáticas, procesos y agentes geomórficos, etc.

Para obtener una información completa sobre las características de una geoforma, es necesario analizar todos aquellos factores relacionados con su dimension, área o extensión, grado de erosión, etc.

8.2 CLASIFICACION, DESCRIPCION Y CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACION DE LAS GEOFORMAS RESULTANTES DE LA ACCION PREDOMINANTE DE AGENTES Y PROCESOS GEOMORFICOS, SIN LA INFLUENCIA O CONTROL DE LA ESTRUCTURA Y LITOLOGIA

Como se expresó anteriormente, existe una gran cantidad de geoformas, que son el resultado de la acción predominante de procesos geomórficos muy definidos, como la acción fluvial, la actividad eólica, los procesos de glaciación, que dejan su impresión distintiva sobre las formas del terreno, dando lugar al desarrollo de un conjunto muy característico de formas asociadas a cada uno de los procesos mencionados y en cuyo desarrollo no ha ejercido control alguno la estructura geológica.

De un modo general, las formas que son producto de los procesos mencionados anteriormente, pueden ser clasificadas de acuerdo al tipo de la acción que efectuan los agentes geomórficos, que participaron en el desarrollo de ellas, como los de erosión y los de acumulación o deposición, que en el primer caso se denominan formas DESTRUCCIONALES mientras que en el segundo se denominan formas CONSTRUCCIONALES

Sin embargo, es importante remarcar que tanto la acción erosiva como de acumulación, trabajan en forma simultánea o alternada, de manera que muchas de las formas pueden reflejar una combinación de ambas acciones, aunque una de ellas predomina más que la otra.

En el cuadro 8.1 se presenta una clasificación de los diferentes procesos geomórficos y las formas construccionales y destruccionales correspondientes.

CUADRO 8.1

GEOFORMAS	PROCESOS FLUVIALES	PROCESOS GLACIALES	PROCESOS GLACIFLUVIALES	PROCESOS EOLICOS	PROCESOS MARINOS
CONSTRUCCIONALES	Llanura aluvial - Dique o albardón natural - Barra de meandro - Cicatriz de meandro - Meandro abandonado - Laguna semilunar - Depósitos de pantano - Bancos Abanico aluvial Bajada o llanura de piedemonte. Valles rellenos o de bolsón. Delta Llanura deltaica	Morrenas - lateral - terminal - de fondo Llanura de Till Drumlins	Llanuras fluvioglaciares Esker Kame Morrenas Kame	Dunas - Longitudinal (seif) - Transversal - Barjan Mantos de arena Llanuras de Loess	Playas Espigas Barras
DESTRUCCIONALES	Terrazas Valles	Circo Arete o arista glaciaria Aguja glaciaria Valles glaciares Valles colgantes			Acantilados Terrazas

Existe otro grupo de formas, que son el resultado de la acción combinada de varios procesos incluyendo el efecto de la gravedad, entre ellos se pueden citar a las siguientes:

a) Por acción combinada de la gravedad, meteorización y el agua se hallan los escombros y conos de talud.

b) Por la acción combinada de la gravedad, meteorización, contenido de agua y la influencia de los taludes y rocas, se puede mencionar geoformas resultantes de la Remosión en Masa. (Reptación, solifluxión, torrentes de barro y de tierra, deslizamientos planares y rotacionales, derrumbes, aludes y hundimientos.

c) La acción combinada de procesos fluviales, marinos, glaciación, meteorización, escorrentía superficial, sobre el relieve existente, desarrollan superficies de erosión que son muy importantes en la interpretación geomorfológica y geológica de una determinada región. Estas superficies de erosión, pueden ser identificadas con mayor precisión en las fotografías aéreas e imágenes de satélite. (Foto 1.3)

A continuación se describen las características aérofotográficas de algunas de las geoformas que se nombran en el Cuadro 8.1.

8.2.1 **Geoformas construccionales de origen fluvial .-** Las formas, producto de la acción de deposición o acumulación fluvial, constituyen un grupo de formas, que en la mayoría de los casos pueden ser identificadas sin mucha dificultad en las fotografías aéreas, dependiendo en especial del tamaño de dichas formas y de la escala de las fotografías aéreas.

Este grupo de geoformas, será descrito considerando en primera instancia aquellas cuyas características dominantes de sus formas son el resultado de la acción combinada de procesos de deposición fluvial y erosión, como las llanuras aluviales. En el otro grupo de formas se hallan aquellas, que eminentemente son de origen deposicional, como los abanicos aluviales, deltas, bajadas, etc.

8.2.1.1 **Llanuras aluviales** Una llanura aluvial que es el producto de la acumulación fluvial; morfológicamente es una superficie relativamente plana, ubicada en ambas márgenes del curso de un río troncal, la cual es inundada en períodos de crecida o avenidas del río. Su formación depende de las condiciones periódicas de inundación, de las variaciones de los máximos y mínimos de turbulencia.

Melton (1936) clasifica a las llanuras aluviales en dos tipos:

1) Llanuras aluviales de curso simple

2) Llanuras aluviales de cursos múltiples

Esta clasificación, es utilizada en fotogeología, porque permite una fácil y rápida identificación de los rasgos geomórficos que caracterizan a las indicadas llanuras aluviales a diferencia de otras clasificaciones, que pueden ser más adecuadas para estudios geomorfológicos de mayor detalle.

Es también necesario, establecer que a pesar de describir en forma separada los dos tipos de llanuras aluviales, ellas pueden coexistir a lo largo del curso de un mismo río.

8.2.1.1.1 **Llanuras aluviales de curso simple** Esta llanura se desarrolla debido al desplazamiento o migración lateral de los meandros del curso individual de un río, en cuyo proceso, produce erosión lateral y deposición de los materiales que transporta, dando lugar al ensanchamiento de la llanura y a la formación de diferentes depósitos, que se hallan ubicados tanto en el mismo curso del río como en las márgenes de los mismos. (Figura 8.1 y modelos estereoscópicos 57 y 58)

En la fotografía aérea, este tipo de llanura se identifica por que presenta las siguientes características:

1) El relieve de la llanura es aproximadamente plano, con diferencias de nivel muy ligeras y sujetas a inundaciones periódicas.

2) El drenaje superficial es poco integrado

3) El río principal, fluye generalmente cerca o muy alejado de los bordes de la llanura.

4) El ancho de la llanura puede vàriar desde unos cuantos cientos de metros hasta sobrepasar el orden de los cien kilómetros.

5) Los tonos de registro de la llanura aluvial son variables, dependiendo tanto del área que está siendo examinada en la llanura aluvial y de la textura del material depositado. Generalmente, los tonos gris claros a gris oscuros se registran en las márgenes del río principal. Los tonos más claros se observan en áreas asociadas con la de los albardones o diques naturales. Tonos oscuros son más comunes en áreas donde ocurren rebalses de agua, depósitos de pantano, meandros abandonados.

Los depósitos y geoformas más comunes, que se hallan en una llanura de curso simple y que pueden ser identificadas en las fotografías aéreas, corresponden a los de la faja de meandros. (Figura 8.1). Entre ellos se hallan los siguientes:

a) Diques o albardones naturales

b) Barras de meandro

c) Meandros abandonados

c) Rellenos de cauce abandonados

d) Cicatrices de meandro

e) Lagunas semilunares (Ox bow lakes)

d) Depósitos de pantanos fluviales

a) Los diques o albardones naturales son depósitos de acreción vertical, se hallan ubicados a lo largo del curso del río y son los que definen o mantienen en cierto modo encausado el curso del mismo. (Figura 8.1)

   En la fotografía aérea son identificados por su relieve que sobresale en la llanura, tiene la forma de crestas muy bajas paralelas al curso del río y cuya ladera en el lado interno del río es más alta y empinada, mientras que otra ladera se inclina gradualmente hacia afuera. Se halla constituido por material limoso. El ancho de estas formas, es variable y en algunos casos puede sobrepasar el orden de los mil metros. Por su altura y pendiente que se aleja del río, por su carácter limoso, mejor desage, es muy apto como terreno para su uso en cultivos. Por las mismas razones, constituyen las áreas más favorables para la construcción de carreteras. Este tipo de depósitos se registra en la fotografía aérea en tonos claros.

b) Las barras de meandro, tambien denominadas albardones semilunares, o espiras de meandro, se hallan ubicadas en el lado interno de la curva de un meandro y son esencialmente debidas al efecto de la acreción horizontal, producida durante la migración de los meandros y se hallan constituidas por una mezcla heterogénea de sedimentos. (Figura 8.1)

   Los tonos fotográficos en los que se registran son blancos a gris claros (modelo estereoscópico 58) y presentan un relieve ligeramente elevado y convexo.

c) Los meandros abandonados Son cursos de ríos abandonados o antiguos, causado por resección de un meandro, que se halla en la etapa de su estrangulamiento. En las fotografías

aéreas, son de fácil identificación por la forma característica que muestran, generalmente en forma de segmentos de cursos o canales aislados y de formas semilunares características. (Modelos estereoscópicos 57 y 58)

d) Las lagunas semilunares, los rellenos de cauce abandonados y las cicatrices de meandros no son más que meandros abandonados que luego de haber sido separados de su curso original por efecto de la resección de cuello, quedan aislados y se denominan laguna semilunar si el canal aislado contiene agua. (Modelo estereoscópico 57) Si este cauce, se va rellenando de limo, arena y arcilla, se convierte en un relleno de cauce abandonado (Modelos estereoscópicos 57 y 58) Cuando la vegetación empieza a crecer en este relleno de cauce, ella se ajusta a la forma del canal, y adquiere un modelo muy fácil para su identificación en la fotografía aérea y es denominado cicatriz de meandro (Figura 8.1, Modelos estereoscópicos 57 y 58).

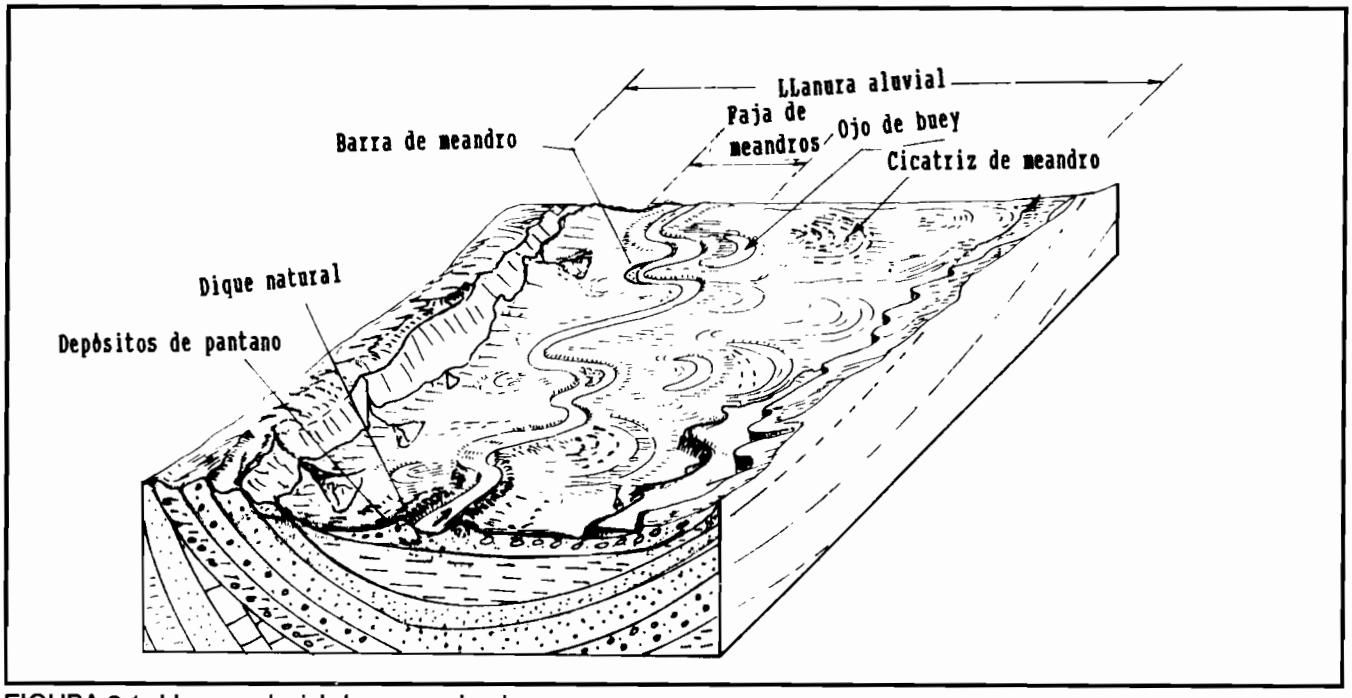


FIGURA 8.1 Llanura aluvial de curso simple

e) Los depósitos de pantano corresponden a aquellos depósitos ubicados en las depresiones que se hallan por detrás de los diques naturales, y son alimentados por el agua que proviene de los diques naturales cuando son rebasados, en épocas de avenida o crecida de los ríos, de manera que el material acumulado generalmente es de textura muy fina, arcillas y limos (Fig 8.1) muy apto para cultivos de arroz.

Generalmente se registran en tonos gris oscuros a negros.

Como los ríos de este tipo de llanuras, cambian sus cursos periódicamente, ellas pueden contener una serie de diques naturales de diferentes tamaños, que marcan los diferentes bordes de los anteriores cursos meándricos, de igual manera se podrá apreciar en la misma llanura, una serie de cicatrices de meandros, cauces abandonados, lagunas semilunares, que muestran modelos muy complejos, para su interpretación. (Modelos estereoscópicos 57, 58) .

8.2.1.1.2 **Llanuras aluviales de cursos múltiples.-** Este tipo de llanuras es característico de regiones semiáridas y áridas, donde las condiciones variables de alta descarga de los ríos con bancos fácilmente erodables, suministran abundante carga, que provoca la pérdida de la capacidad y competencia del río, causando la disminución de la velocidad del río y a consecuencia de ello, se deposita la carga transportada, desarrollando un drenaje trenzado asociado con un solo tipo de depósito, denominados Bancos de arena o de gravas. (Modelos estereoscópicos 55 y 56)

En este tipo de llanuras se hallan ausentes los depósitos asociados con los de la llanura de un solo curso.

Los tonos fotográficos de registro son claros a gris claros, en especial para los bancos de arena o grava. Las áreas topográficamente más bajas y pobremente drenadas, se registran en tonos más oscuros.

A diferencia de las llanuras de curso simple, la vegetación se halla ausente. En general el uso de tierras para fines de agricultura no son ideales, por las periódicas inundaciones torrenciales que afectan a estas llanuras. Las dimensiones de estas llanuras son más pequeñas y estrechas comparadas con las de curso simple.

8.2.1.2 **Abanicos aluviales.-** Se desarrollan en áreas donde los ríos que emergen de regiones montañosas, desembocan en regiones de relieve plano y a consecuencia de ello se produce una disminución de la gradiente y por lo tanto de la velocidad del río, que se traduce en la pérdida de su poder de transporte, depositando en forma parcial la carga por él transportada, en el punto donde el río pasa de la región de montaña a la de relieve plano. Esta carga, así depositada obstruye el flujo normal del curso del río, dando lugar a que se ramifique radialmente en varios canales, que en forma conjunta adquiere un diseño dicotómico, integrado por ríos trenzados.

El resultado de este proceso que es contínuo, da lugar a un depósito que adquiere la forma de abanico, de relieve muy suave, con pendientes que varían entre 5^{o} a 10^{o}, constituido por sedimentos de textura gruesa (gravas y algo de arenas) en el ápice o cabecera del abanico y sedimentos más finos (limo arena y arcilla) en la zona distal. (Figura 8.2 y modelos estereoscópicos 1 y 59).

El tamaño de los abanicos aluviales, en general es una función de las dimensiones de la cuenca de drenaje de aporte, de la litología predominante y de la erodabilidad de la cuenca, de las condiciones climáticas y tectónicas del área.

De manera general, se podría establecer que los abanicos aluviales constituidos por sedimentos provenientes de áreas de limolitas y lutitas, tienden a ser de dimensiones y espesores mayores y de pendientes más suaves que los abanicos aluviales cuyo aporte proviene de cuencas de drenaje constituidas por areniscas y otros materiales de textura gruesa.

Las condiciones climáticas, también ejercen su influencia, en el tamaño del abanico y la textura de los sedimentos. En climas húmedos y tropicales, la intensidad de la meteorización química y el aporte contínuo de agua, provoca una rápida descomposición de las rocas, de manera que la abundancia de sedimentos de textura fina como el limo y la arcilla son predominantes, en los abanicos aluviales. De igual manera, un abanico aluvial tiene dimensiones más pequeñas que los formados en los de regiones semiáridas y áridas, donde la textura de los sedimentos es más gruesa.

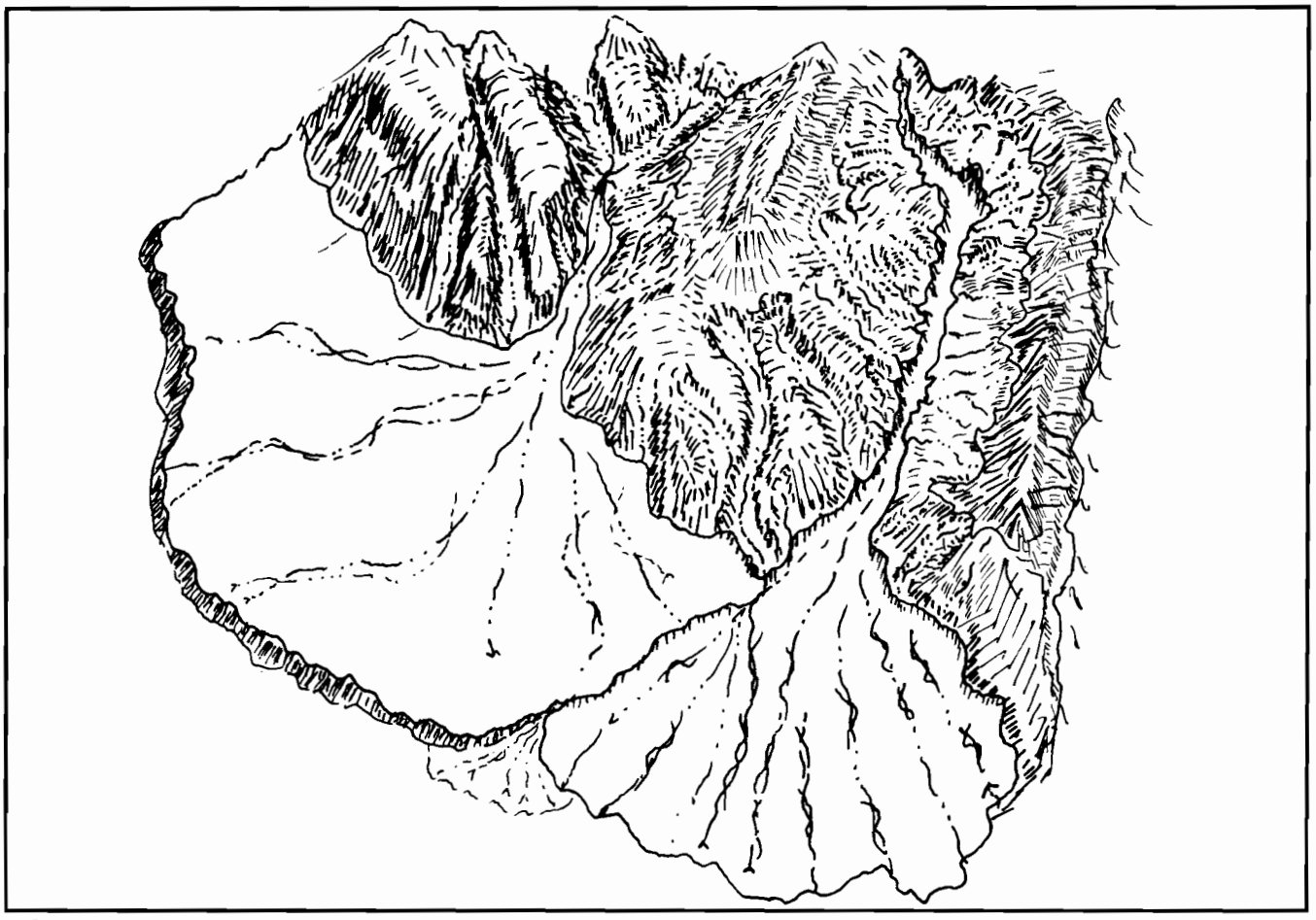


FIGURA 8.2 Abanicos aluviales

En regiones tectónicamente activas, especialmente asociadas con fallamiento, se produce el levantamiento y hundimiento de los bloques de falla, ocasionando que los ríos aumenten su gradiente a medida que se acercan a la zona de falla, que dá lugar a una intensa acción de disección de los ríos en el frente de la falla o del escarpe, para luego depositar su carga y formar abanicos aluviales anormalmente pequeños en la base del escarpe.

Por las dimensiones tan pequeñas de estos abanicos, se prefiere designarlos con el nombre de Conos aluviales, que además presentan algunas otras características que no son comunes en los verdaderos abanicos aluviales. Ellas son:

a) Pendientes con ángulos de inclinación entre 10^{o} y 15^{o}

b) Muy pequeños en extensión lateral.

c) Relativamente poco afectadas por la acción erosiva del agua

d) Los sedimentos de textura gruesa son mas abundantes en relación a su distribución.

8.2.1.3 **Bajada** Cuando varios abanicos aluviales adyacentes ubicados a lo largo de un frente de montaña, empiezan a extenderse lateralmente, debido al contínuo desplazamiento lateral de los ríos y deposición de su carga, llegan a unirse, hasta desarrollar una superficie uniforme y plana, llamada

Bajada, que algunos geomorfólogos como C.A. Cotton, (1964) L. King, (1967) W. Thornbury, (1960) la denominan LLanura de Piedemonte (Figura 8.3 y modelos estereoscópicos 43 y 60).

Si el crecimiento de las Bajadas o llanuras de Piedemonte se realiza en valles o cuencas cerradas y el aporte de la carga de los ríos es contínuo, se produce el relleno de la cuenca o valle, desarrollando de esa manera un valle relleno denominado en algunos casos Bolsones. Este tipo de formas y depósitos es muy característico de regiones áridas y semiáridas.

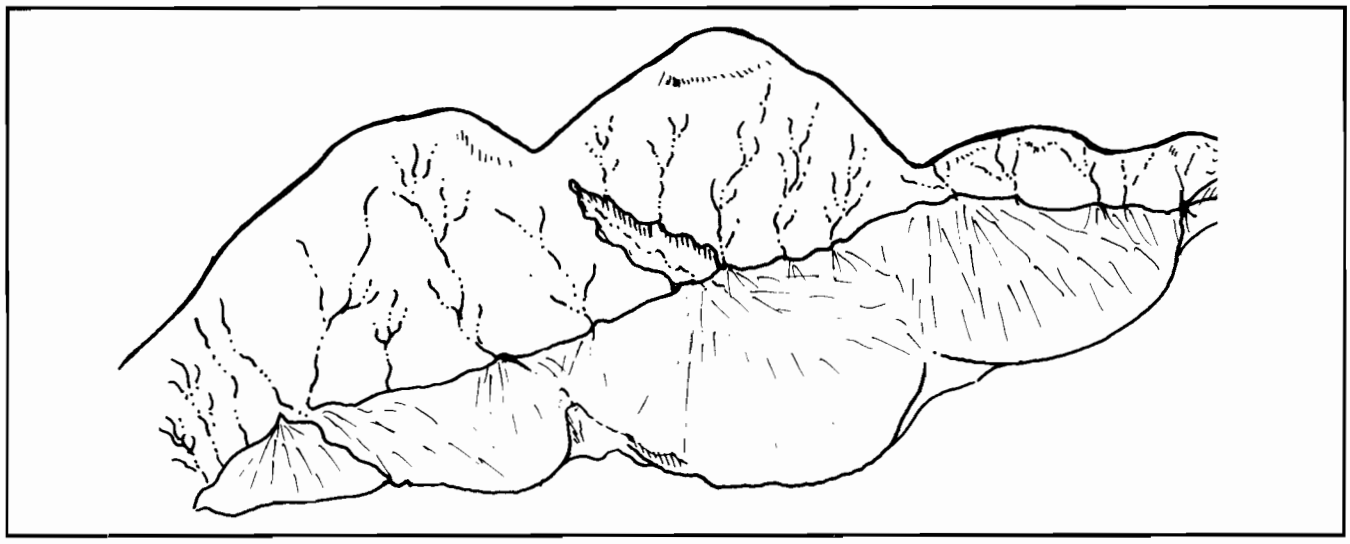


FIGURA 8.3 Bajada o Llanuras de piedemonte

8.2.1.4 **Deltas.-** Cuando los ríos desembocan en el mar o en un cuerpo de agua estancado, como lagos y lagunas, la carga transportada por el río es depositada en el cuerpo de agua, que bajo ciertas condiciones, da lugar a la formación de un delta.

La formación de un delta, se halla en función de varias condiciones y factores, que dependen fundamentalmente de la interacción que existe entre las características de los componentes de la región interior del continente o zona de aporte de los sedimentos transportado por los ríos y las de la cuenca de recepción, que puede corresponder a un oceáno, lago o laguna.

a) Entre los principales componentes que corresponden a la región del interior o zona de aporte de sedimentos, se hallan la cuenca de drenaje y el sistema fluvial, en el que factores como el relieve, geología, clima y comportamiento téctónico interactúan para determinar el régimen fluvial y el suministro de sedimentos que alimentan al delta.

   Por lo tanto la naturaleza de los sedimentos y el régimen fluvial que transporta los sedimentos, reflejan las características de la zona de aporte de los sedimentos.

b) Las principales características de la cuenca receptora son la forma y tamaño de la cuenca, batimetria, condiciones climáticas, salinidad del cuerpo de agua, comportamiento general de la cuenca en términos de rangos de subsidencia y fluctuaciones del nivel del mar y el régimen de la cuenca que incluye los efectos de las olas y los procesos inducidos de las olas, procesos de las mareas y en menor extensión corrientes semipermanentes, corrientes oceánicas y efectos de los vientos, los cuales pueden temporalmente levantar o bajar el nivel del mar.

La naturaleza del régimen de la cuenca, se halla controlado por el tipo de la cuenca. Por ejemplo, en cuencas semicerradas o mares cerrados, la energía de las olas será limitada, debido al reducido aporte y a la influencia de las mareas que es mínima.

Deltas ubicados en cuencas angostas elongadas o golfos conectados a un oceáno, experimentan considerables efectos de las mareas como corrientes de mareas son amplificadas y pueden por lo tanto transportar considerable volúmenes de sedimentos.

En márgenes continentales de frente amplio que miran al oceáno en toda su extensión, el rango total de los procesos de la cuenca afectan al delta.

Por el contrario, en cuencas pequeñas como en lagos y lagunas, la influencia de los procesos de la cuenca son limitados y los deltas están dominados por procesos fluviales.

La profundidad de la cuenca y la presencia o ausencia de la influencia de la inclinación de la plataforma influye el régimen de la cuenca particularmente en términos de atenuación.

Las indicadas características influyen en la interacción que debe existir entre los ríos cargados de sedimentos y los procesos de la cuenca, que definen el régimen del delta, determinando la dispersión y eventual deposición de los sedimentos en el área del delta.

Por lo expuesto, se concluye que los diferentes tipos de deltas, se hallan definidos en su desarrollo, en algunos casos por la predominancia de la influencia de la acción de las olas, mareas sobre los procesos fluviales, (deltas digitados, lobados), en otros casos los procesos fluviales son los predominantes.

Por ello es importante comprender las relaciones más importantes, que existen entre la fuente de aporte y la cuenca receptora entre las que se puede mencionar a las siguientes:

1) La cantidad total de sedimentos suministrados en relación a la capacidad de los procesos de la cuenca para ser retrabajados y depositados.

2) La textura de los sedimentos transportados por los ríos, influyen en la dispersión y su deposición en el delta. Sedimentos de textura gruesa tienden a depositarse en las inmediaciones de la desembocadura del río.

   Sedimentos de textura más fina, son generalmente transportados lejos de la costa y dispersado en un amplia área de la cuenca.

3) Variaciones en la descarga de los ríos, son importantes en la determinación del calibre del suministro de los sedimentos. Rios de regímenes erráticos o caracterizados por períodos episódicos breves de alta descarga, con mayor probabilidad aportarán sedimentos de textura gruesa al delta, que aquellos de regímenes más estables, que tienden primero a clasificar los sedimentos, antes de llegar al delta.

4) La regulación del tiempo de las fluctuaciones en las descargas fluviales relacionadas con las fluctuaciones en el régimen de energía de la cuenca, influye también en la deposición en el área del delta. Si los máximos se hallan en fase, los procesos de la cuenca contínuamente redistribuyen los sedimentos del río, pero si se hallan fuera de fase, los períodos de progradación del delta alternan con períodos de retrabajo por los procesos de la cuenca.

5) Las densidades relativas del río y de las aguas de la cuenca son un factor importante de control de primer orden sobre la manera en la cual la carga del río, es descargada y dispersada en la cuenca.

   De acuerdo a las indicadas condiciones de salinidad, cuando los ríos desembocan en las aguas de la cuenca, pueden en un caso ocurrir la mezcla inmediata del río con las de la cuenca. En otros casos la descarga del río fluye por debajo de las aguas de la cuenca con densidades diferentes, recorriendo a veces varios cientos de kms. aumentando su longitud y disminuyendo su gradiente al igual que la capacidad de carga transportable.

6) Finalmente las condiciones téctónicas existentes en las márgenes de las cuencas influyen en los efectos de subsidencia y fluctuaciones de la cuenca.

Si se generaliza las condiciones para la formación de un delta de acuerdo a lo anteriormente expuesto, se podría concluir que existe una relación directa entre las características texturales de la carga, la cantidad de la misma, los ríos y mareas del cuerpo de agua, en el cual la carga es acumulada. Por lo tanto, si la cantidad de carga transportada por el río es pequeña y la corriente y mareas del cuerpo de agua son fuertes, la mayor parte de la carga se depositará lejos del área de la desembocadura del río, sin que llegue a formarse un delta.

Por el contrario, si las corrientes son débiles y la carga es grande, la deposición ocurrirá en la desembocadura del río y empezará la formación de un Delta.

Teóricamente, la formación de un delta empieza con la deposición de sedimentos cerca a la costa, bajo el agua y sobre la pendiente original de la plataforma marina. Estas capas son denominadas capas frontales, generalmente se hallan constituidas por material de grano grueso, tienen pendientes más empinadas que la plataforma marina. La inclinación de las capas dorsales depende de muchas variables tales como:

a) Textura del sedimento

b) Condiciones de la corrientes y olas del cuerpo de agua.

c) Régimen del río

d) Régimen de la cuenca receptora

e) Perfil y características de la plataforma, sobre la cual se depósita la carga.

Los sedimentos de textura fina de la carga, son transportados por el río y corrientes de agua a grandes distancias y son depositados en el piso de la cuenca, distribuyéndose en forma amplia. Estas capas se denominan capas basales y constituidas generalmente por arcillas y material coloidal. Estos depósitos se hallan cubiertos por las capas frontales y dorsales.

En este contínuo proceso de formación de las capas basales y frontales, ocasionada por la deposición de los sedimentos que el río deposita, se produce agradación vertical submarina, hasta que emerge sobre la superficie del agua, como un depósito realmente fluvial. Estas capas son denominadas capas dorsales y son las que determinan la forma visible del delta y sobre las que se desarrollan los depósitos de la llanura deltaica.

Ellas generalmente tienen una inclinación suave, de relieve bastante plano y generalmente constituidas por arenas, arcillas, limo y un alto contenido de materia orgánica.

Los términos basal, dorsal y frontal fueron utilizados para describir la estructura deltaica. Aunque no todos los deltas presentan este tipo de estructura, este concepto ha sido aceptado durante varias décadas y la presencia o ausencia de capas frontales inclinadas de grandes dimensiones era considerada como un criterio importante en el reconocimiento de sucesiones deltaicas antiguas.

Al presente, por la gran cantidad de investigaciones y estudios realizados sobre deltas tanto antiguos como actuales, es posible establecer con certeza, que no es necesario pensar en la presencia obligada de capas basales, dorsales y basales para que se desarrolle un delta, correspondiendo ello más bien a una situación ideal, ya que son muchos los factores y variables como: cargas, mareas, corrientes, edad, procesos de la cuenca, tectónismo, que al combinarse, complican la formación de un delta.

Como resultado de ello, con excepción de los deltas elementales, la mayoría podría decirse que son formas muy complejas, y cuya complejidad aumenta a medida que los deltas son más grandes como el del Nilo, Mississippi, son tan complicadas que desafian a una descripción y explicación estructural que no sea de una manera muy general.

Una característica importante que los especialistas en deltas, han obtenido de las comparaciones entre deltas antiguos y los actuales es la relación que existe entre el régimen de un delta y la morfología.

Por todas estas consideraciones relacionadas con la gran variabilidad de las características de los deltas y ante la imposibilidad de aceptar un solo modelo en su desarrollo, se prefiere considerar de manera general que dos son los componentes principales de un delta y ellos son:

a) Llanura deltaica

b) Frente del delta

8.2.1.4.1 **Llanura deltaica** Se caracterizan por cubrir áreas extensas con un relieve plano, constituído por ríos distributivos activos y abandonados, separados entre si por cuerpos de agua muy superficiales y superficies de terreno. (Fig. 8.4) Generalmente los ríos que corren sobre esta llanura son varios y adquieren un diseño dicotómico o distributivo, cuya carga transportada es suministrada al frente del delta.

Sobre la llanura deltaica, además de los ríos distributivos, se hallan otros depósitos como llanuras aluviales, lagos, llanuras de inundación por mareas, pantanos, ciénegas y salinas, los que son extremadamente sensibles a las condiciones climáticas. Por lo tanto de acuerdo a la condiciones climáticas las llanuras climáticas pueden presentar ciertos depósitos muy característicos para esas condiciones. Por ejemplo en climas áridos y semiáridos, la vegetación estará ausente, pero dominada por campos de dunas, depósitos eólicos, salinas. Por el contrarío en climas tropicales y subtropicales, desarrollarán una vetación muy densa, pantanos de agua dulce, manglares, etc.

La mayoría de las llanuras deltaicas, se hallan afectadas por procesos fluviales y de mareas, por lo que es posible clasificar las llanuras deltaicas de acuerdo a la predominancia de dichos procesos y ellas corresponden a los siguientes tipos:

- Llanuras deltaicas con predominancia de procesos fluviales

- Llanuras deltaicas con predominancia de la acción de mareas

- En el caso de llanuras deltaicas con predominancia de procesos fluviales, puede desarrollarse sobre ellas, dos sistemas de ríos, que se hallan en función de las condiciones del flujo de los ríos, de las etapas de las fluctuaciones periódicas de crecidas, de los tipos y caracteristicas de la carga transportada.

  En base a las indicadas condiciones, los ríos pueden ser trenzados adoptando en forma conjunta un diseño distributivo o dicotómico. La forma que adquiere el delta en esas condiciones será la forma de un delta en abanico. Un ejemplo de este tipo de delta corresponde al delta del Nilo.

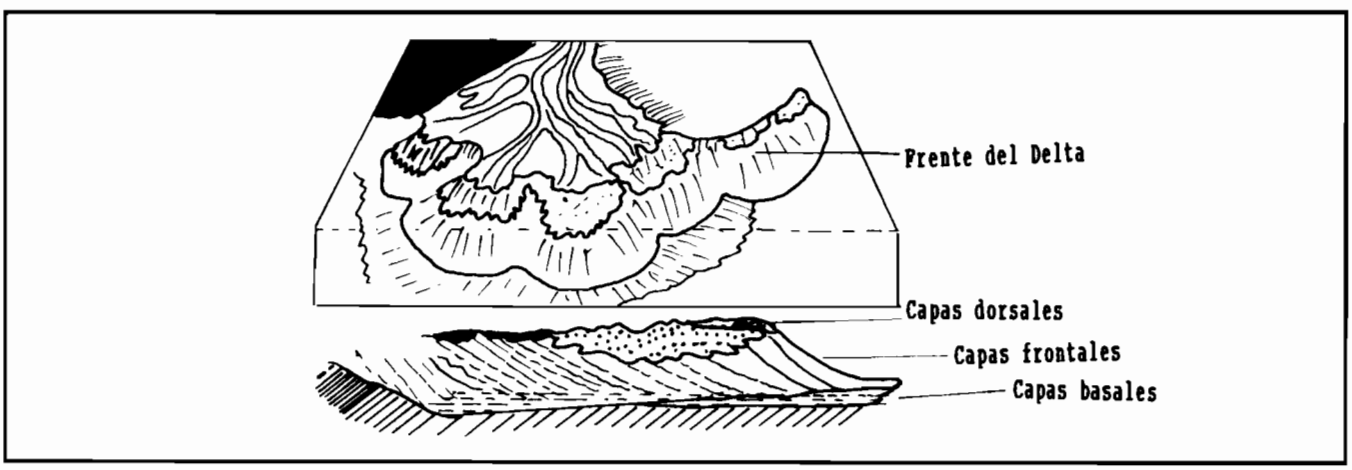


FIGURA 8.4 Llanura deltaica y frente del delta

En otros casos, los ríos adoptan diseños similares a los meándricos, que desde luego se hallarán asociados con los depósitos que caracterizan a ese diseño de drenaje. Generalmente, bajos esas condiciones, los ríos transportan mayor porcentaje de sedimentos de granos fino, que favorecen el desarrollo de depósitos y formas como las de los diques o albardones naturales similares a aquellos que se presentan en llanuras aluviales de cursos simples. Por las características de los indicados depósitos, los deltas corresponden a los deltas digitados. El delta del río Mississippi es un ejemplo de delta digitado.

Los deltas digitados, si se hallan bien desarrollados se caracterizan por presentar unos pocos y bien definidos canales, limitadas por depósitos, tales como: albardones naturales, pantanos, etc.

En resumen los deltas de acuerdo a las características anotadas, corresponden a dos tipos:

- Deltas en forma de abanico.

- Deltas digitados

- Las llanuras deltaicas con predominancia de la acción de las mareas, son comunes en áreas de rangos moderados de marea alta, en las cuales, las mareas invaden los cursos de los ríos durante los períodos de inundación y rebasan sobre los bancos de los canales inundando las áreas adyacentes de los ríos distributivos. En esas condiciones las aguas son estancadas y almacenadas temporalmente y luego retiradas cuando la marea disminuye. Por lo tanto

las corrientes de las mareas predominan en los cursos de los ríos distributivos más bajos mientras que las áreas interfluviales adoptan las características de llanuras intermareas.

Los canales influenciados por las mareas se caracterizan por tener cursos casi rectos, de poca sinuosidad, de forma de embudo, con una relación alta entre el ancho y profundidad, que contrasta considerablemente con la naturaleza casi paralela de las márgenes de los cursos de ríos, en áreas con marea baja.

Entre las características más sobresalientes de este tipo de llanuras, se puede mencionar la asociación de secuencias que reflejan una interacción entre procesos fluviales y de mareas, de manera que alternan depósitos fluviales con depósitos que poseen algunas características de origen marino, en el que también tienen gran importancia las condiciones climáticas. En climas tropicales o subtropicales, las áreas son inundadas durante los ciclos de marea y a consecuencia de ese efecto, es posible encontrar en las áreas interfluviales, dominadas por pantanos de mangle, disectados por ríos distributivos influenciados por mareas y un diseño complejo de arroyuelos influenciados por mareas, y por último es posible observar en la confluencia de dos canales influenciados por la marea, la presencia de deltas internos, ubicados en las desembocaduras al mar. Deltas de este tipo son los del río Niger, del río MacKenzie, río de La Plata, algunos autores los denominan deltas de estuario. (Figura 8.5)

Los deltas de estuario generalmente presentan un sistema complicado de canales, islas; y ríos distributivos abandonados.

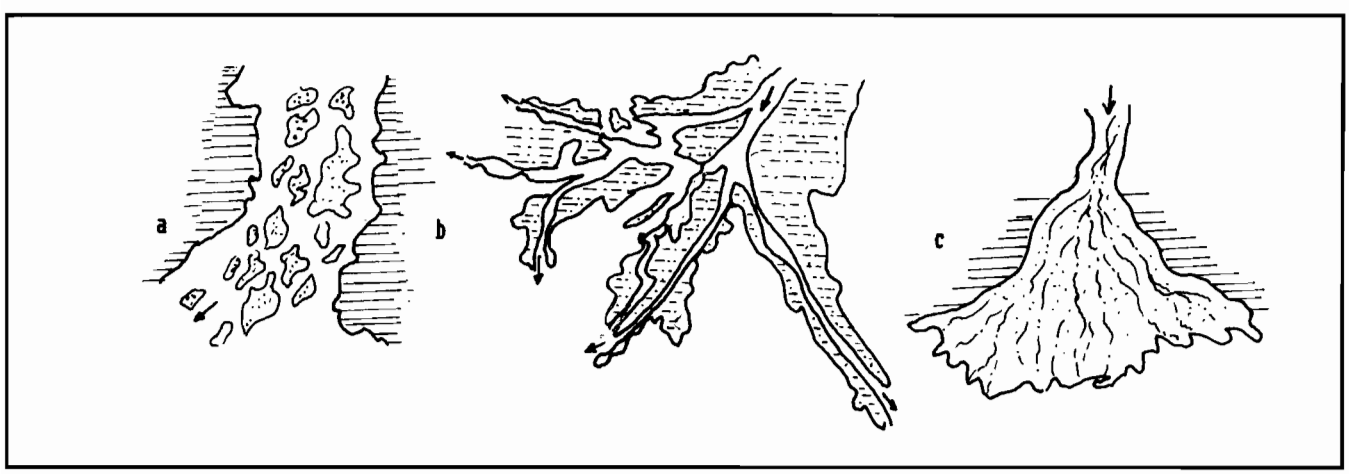


FIGURA 8.5 Tipos de deltas: a) Estuario. b) Digitado. c) En Abanico

8.2.1.4.2 **Frente del delta** El segundo componente de un delta, o frente del delta, corresponde al área en la cual los ríos cargados de sedimentos desembocan en la cuenca, donde son dispersados al tiempo que ellos interactúan con los procesos de la cuenca.

En los parrafos anteriores, se discutió ampliamente las relaciones más importantes, que existen entre la fuente de aporte y la cuenca receptora, remarcando las condiciones bajo las cuales puede ocurrir deposición, ya sea en la desembocadura, o lejos de ella, en la que las condiciones de salinidad y densidad de ambos cuerpos de agua, la influencia y la intensidad de las mareas, olas y corrientes marinas, definen la forma de deposición tanto de los sedimentos finos o gruesos, etc.

Sin embargo es importante recalcar que la progradación del frente de un delta, no es generalmente uniforme, por lo tanto, el suministro de sedimentos varía de punto a punto, alrededor del frente del delta, además que el suministro de sedimentos se halla cambiando constantemente, por lo que los frentes de un delta serán muy diferentes de acuerdo a la predominancia de los procesos fluviales sobre los de la cuenca, o a la inversa, en la que tambien juegan un rol importante, la influencia de las mareas, olas marinas o combinación de ambas.

En base a estas consideraciones, es posible establecer que el frente del delta, varía en sus características y puede ser clasificado de acuerdo a la predominancia de alguno de los indicados procesos, de la siguiente manera:

- Frente del delta con predominancia de procesos fluviales
- Frente del delta con predominancia de la interacción entre la acción fluvial y de olas marinas
- Frente del delta con predominancia de la acción de las olas
- Frente del delta con interacción combinada entre la acción fluvial, de olas y mareas.
- Frente del delta con predominancia de la acción de mareas

Es importante hacer notar, que la predominancia de la acción de uno de los procesos nombrados, principalmente se hallan en función de varios factores como la forma de la línea de costa donde se formará el delta, de las características del perfil de la plataforma, profundidad de la cuenca, descarga de los ríos, etc.

Para la identificación y clasificación de un delta, mediante la interpretación de fotografías aéreas, es muy importante tomar en cuenta, todas las consideraciones realizadas en los parrafos anteriores, debido a la complejidad en su desarrollo.

Por lo general, un delta puede ser identificado en la fotografía aérea por su forma, que resalta fuertemente en relación a la actual o antigua línea de costa.

La identificación de la forma de un delta, es de gran importancia, debido a que los deltas como formas visibles no siempre están limitados por agua. En este caso se trata de deltas fósiles, muy característicos en algunas áreas plegadas.

Topográficamente, los deltas son muy parecidos y caracterizados por superficies casi planas interrumpidas solo por irregularidades asociadas con los ríos distributivos.

La vegetación y el uso de tierras es muy escaso o se halla ausente en deltas en abanico, y es mejor desarrollado en deltas digitados.

8.2.2 **Geoformas destruccionales de origen fluvial.-** Entre las más importantes geoformas debidas a la acción erosiva de los ríos, se hallan las terrazas fluviales; valles fluviales; valle en valle o valle de dos pisos y formas asociadas con la captura de ríos. (Abras de agua, abras de viento, codo de captura, etc)

8.2.2.1 **Terrazas.-** Son superficies relativamente planas, horizontales o con inclinación suave, que se hallan ubicadas por encima de las márgenes y a lo largo del curso de un río. Corresponden a remanentes de antiguas llanuras aluviales y por lo tanto indican niveles anteriores de los pisos de un valle.

Existen varias causas para la formación de terrazas, entre las que se hallan, aquellas relacionadas con la interrupción del ciclo geomórfico fluvial de un paisaje, debido al cual los ríos que lograron conseguir su perfil de equilibrio, o se hallaban depositando gran cantidad de su carga, nuevamente empiezan a profundizar su valle. Este proceso denominado Rejuvenecimiento ocasiona que un paisaje en cualquier etapa de su desarrollo sea interrumpido, sobreimponiendo en él, los caracteres que corresponden al de un paisaje en estado de juventud.

Las causas para que ocurra Rejuvenecimiento son principalmente de caracter eustático o tectónico. Ambas causas, provocan el descenso del nivel del mar, que se traduce en el descenso del nivel de base de los ríos, acompañado de una activa erosión de sus cauces, hasta conseguir su ajuste al nuevo nivel de base.

El descenso del nivel del mar, por rejuvenecimiento eustático, se halla asociado con cambios marcados en las condiciones climáticas, asociadas con los períodos glaciales e interglaciares ocurridos durante el Pleistoceno.

El descenso del nivel del mar por la actividad tectónica, se halla especialmente relacionado con movimientos epeirogénicos y orogénicos, ocurridos durante el Plioceno y Pleistoceno.

En consecuencia las terrazas, constituyen una evidencia de rejuvenecimiento y por lo tanto la identificación de esta geoforma en la fotografía aérea, es de gran ayuda en un estudio fotogeológico o geomorfológico.

Sin embargo, existe un tipo de terraza, denominado Terraza estructural cuyo origen no se halla relacionado con cambios de nivel de base, por el contrario son de carácter muy local y se desarrollan solo por la presencia de estratos horizontales resistentes a la erosión, sobre los que actua el efecto erosivo de los ríos.

Existen diferentes tipos de terrazas, que se hallan relacionados con cambios de nivel de base, entre las que se puede mencionar a las siguientes:

- **Terrazas aluviales** Se denominan así, por que la erosión fluvial ha actuado sobre la llanura aluvial, despues que ella ha alcanzado espesores considerables de sedimentos, depositados durante un período en que transportaba carga excesiva, que por lo general se hallan constituidas por gravas, arenas, limos, arcillas. Luego de la acumulación de dicha carga en la llanura aluvial, se produce la profundización por la acción erosiva del río, debido a las causas señaladas en párrafos anteriores, desarrollando una terraza, que se halla íntegramente constituida por depósitos de origen aluvial. (Figura 8.6.a y Modelos estereoscópicos 55, 44, 31, 72)

- **Terrazas de erosión** Al contrario de las anteriores, ellas se hallan asociadas con aquellas llanuras aluviales, que tienen muy poco espesor o casi nada de depósitos aluviales, de manera que en ocasiones es posible apreciar la roca en la superficie de la terraza, cuando se la observa en las fotografías aéreas. (Figura 8.6 b y Modelos estereoscópicos 63, 64, 73)

Cotton (1942) clasifica también a las terrazas en dos grupos:

a) Terrazas Cíclicas

b) Terrazas Acíclicas

a) **Terrazas cíclicas** También denominadas terrazas pares se caracterizan, por el desarrollo de terrazas ubicadas en ambas margenes del río y a la misma elevación sobre el nivel del río (Figura 8.6 c). Sugieren períodos de rejuvenecimiento, en los cuales ha existido una etapa, donde la erosión lateral del río predominaba sobre la profundización que prácticamente se detenía.

b) **Terrazas acíclicas** o terrazas impares muestran el desarrollo de terrazas en las márgenes de un río, pero a niveles diferentes. (Figura 8.6.d). El ascenso lento y continuo de la superficie, pueden dar lugar que la profundización y la erosión lateral del río, se realice de manera contínua, acompañada del desplazamiento del río de un márgen al otro, efecto que provoca que las terrazas se hallen a diferentes niveles en ambas laderas del río.

La identificación de los dos grupos de terrazas, son criterios muy importantes que pueden ser utilizados como guías en la interpretación de la historia geológica de una región.

El criterio básico utilizado para la identificación de terrazas, en las fotografías aéreas, es la forma, la cual es común para cualquiera de los diferentes tipos de terrazas, con ligeras diferencias en su expresión morfológica, en función de la textura del sedimento que predomina en la terraza.

Entre las características más importantes que muestra la forma de las terrazas, se mencionan a las siguientes:

- Presenta una superficie plana, ligeramente horizontal, que de acuerdo al tiempo de exposición a los efectos de meteorización, erosión y otros, así como las caracteristicas texturales de los depósitos, puede cambiar a un relieve irregular, poco nivelado, con desarrollo de caras o escarpes que miran al río. Si las caras o los escarpes son verticales, los depósitos de la terraza, serán en su mayoría de textura gruesa. (Modelos estereoscópicos 55 y 27).

  Por el contrario, si la terraza se halla constituida por material fino, las caras o escarpes desarrollarán pendientes más suaves. (Modelos estereoscópicos 62 y 31)

- Cuando se halla fuertemente erosionada, los remanentes generalmente ubicados a niveles más altos que el río y la nueva llanura aluvial, se hallan distribuidos de manera irregular a lo largo del curso del río. (Modelo estereoscópico 72)

- Cuando la textura del material es fina, la superficie de la terraza es más ondulada y disectada. (Modelos estereoscópicos 62 y 31).

  Las terrazas con depósitos de textura gruesa, son menos disectadas. (Modelos estereoscópicos 55)

- Terrazas constituidas por grava y arena, generalmente se registran en tonos claros. (modelos estereoscópicos 55 y 72) mientras que las constituídas por arcillas, limo se registran en tonos mas obscuros. (Modelo estereoscópico 62)

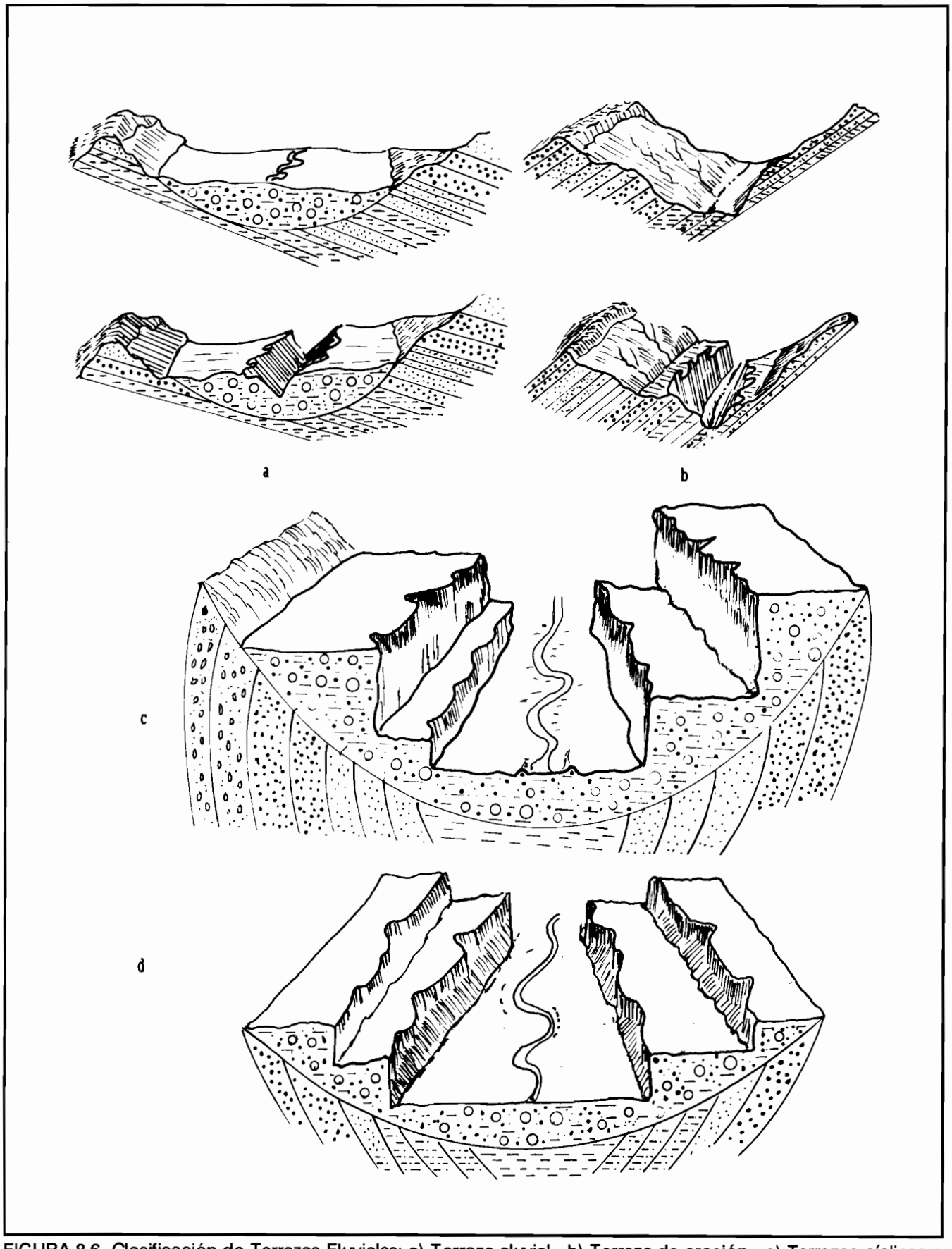


FIGURA 8.6 Clasificación de Terrazas Fluviales: a) Terraza aluvial. b) Terraza de erosión. c) Terrazas cíclicas o pares. d) Terrazas acíclicas o impares.

- Las terrazas ubicadas en niveles más altos, corresponden a las más antiguas.

Otra geoforma asociada con el Rejuvenecimiento, corresponde al Valle en valle o valle de dos pisos, cuya identificación en la fotografía aérea es sencilla, por la diferencia marcada que muestra el valle más antiguo, de formas suaves, amplias y pandas, que a su vez se halla en proceso de profundización por el mismo río desarrollando, un nuevo valle más estrecho y profundo cuyo piso se halla a un nivel más bajo que el valle original. (Figura 8.7 y modelo estereoscópico 74)

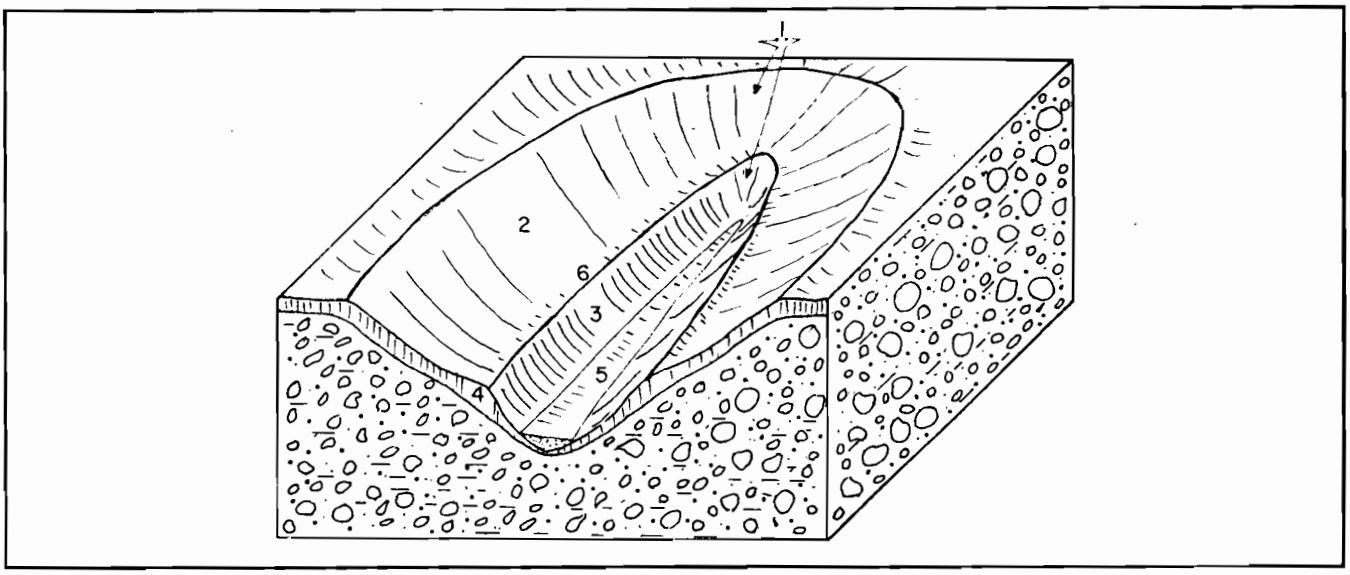


FIGURA 8.7 Representación gráfica de un modelo de Valle en valle. (Comparar con el modelo estreoscópico 74-ciudad de La Paz-Chuquiaguillo)
1) Valle en valle. 2) Sistema antiguo de valles. 3) Sistema actual de valles. 4) Depósitos coluvio-aluviales del antiguo piso del valle. 5) Piso actual del valle. 6) Piso antiguo del valle.

Valles, los valles que son el producto más importante de la acción de la erosión fluvial, pueden ser clasificados y descritos desde puntos diferentes de vista, siendo los más importantes las siguientes:

a) Clasificación genética

b) Clasificación de los valles transversales a la estructura geológica

c) Clasificación de acuerdo a su evolución en el ciclo geomórfico fluvial

d) Clasificación de acuerdo a los cambios de nivel de base

e) Clasificación de acuerdo al control que ejerce la estructura geológica

Las dos primeras clasificaciones, fueron discutidas en el anterior capítulo, sin embargo, es necesario hacer notar que apesar de la diferencia que existe entre río y valle, se considera que al clasificar los valles o ríos, en estos dos primeros casos, de acuerdo a los factores mencionados anteriormente, no se está cometiendo error al utilizar indistintamente el término valle o río, porque en este caso se quiere significar lo mismo.

- La clasificación de los valles de acuerdo a su evolución en el ciclo geomórfico fluvial, propuesta por Davis (1899) clasifica a los valles en jóvenes, maduros y seniles, cuyas

características relacionadas con su perfil transversal varían de acuerdo al estado de evolución en que se halla.

Por lo general los valles jovenes, tendrán perfiles transversales en forma de V. Sin embargo la forma de los perfiles transversales de los valles es una función de varios factores, en el que la roca es uno de los principales controles en el desarrollo de su perfil.

Por ello se prefiere discutir las diferentes formas de los valles, cuando se describan las características fotogeológicas de los diferentes tipos de rocas.

En los valles maduros, los perfiles transversales muestran laderas asimétricas, de inclinaciones más suaves y con pisos en los cuales se desarrollan llanuras aluviales, sobre las que los ríos pueden desplazarse libremente. El ancho de la llanura no sobrepasa en dos veces al ancho de la faja de Meandros.

Los valles seniles son excesivamente anchos, de manera que las llanuras aluviales asociadas a estos valles son varias veces más anchas que la faja de meandros que se desplaza sobre la llanura.

- La clasificación de los valles de acuerdo a cambios en el nivel de base, clasifica a los valles en rejuvenecidos y anegados. En el primer caso el nivel de base ha descendido, mientras que en el segundo caso, ha ocurrido un ascenso del nivel de base. Un ejemplo de valles rejuvenecidos, son los que corresponden al valle en valle o valle de dos pisos descrito anteriormente.

- La clasificación de los valles de acuerdo al control que ejerce la estructura geológica, será realizada en el capítulo correspondiente al análisis estructural.

8.2.3 **Geoformas debidas a la acción combinada de la gravedad y el agua corriente.-** Los depósitos que se acumulan sobre las laderas, por el efecto combinado de la acción de la gravedad y el agua corriente son denominados de manera general como depósitos coluviales, que bajo ciertas condiciones dan lugar al desarrollo de algunas geoformas que pueden ser clasificados en dos grupos:

a) Conos de talud

b) Escombros de talud

c) Formas debidas a la Remosión en masa

8.2.3.1 **Conos de Talud.-** Estos depósitos que son producto de la acción combinada de la meteorización, gravedad y agua superficial, se desarrollan sobre las laderas de frentes de montañas, serranias, etc. Cuando las rocas son aflojadas por efectos de la meteorización y erosíon, estos detritos rocosos son desplazados laderas abajo por efecto de la gravedad y se depositan si ocurre un cambio en la gradiente y velocidad, adoptando el depósito una forma cónica, conocido con el nombre de Cono de talud. (Figura 8.8, modelos estereoscópicos 2, 55, 65, 75, 76, 78, 80)

Entre las características que permiten su identificación en las fotografías aéreas, se hallan las siguientes:

- La forma cónica
- El ángulo de inclinación de la superficie del cono varía entre 20° y 35°
- Los detritos de textura más gruesas se depositan en las partes más bajas, hasta alcanzar el ángulo de reposo. Los más finos se hallan depositados en el ápice del cono .
- Se registran en tonos fotográficos claros a ligeramente gris claros.

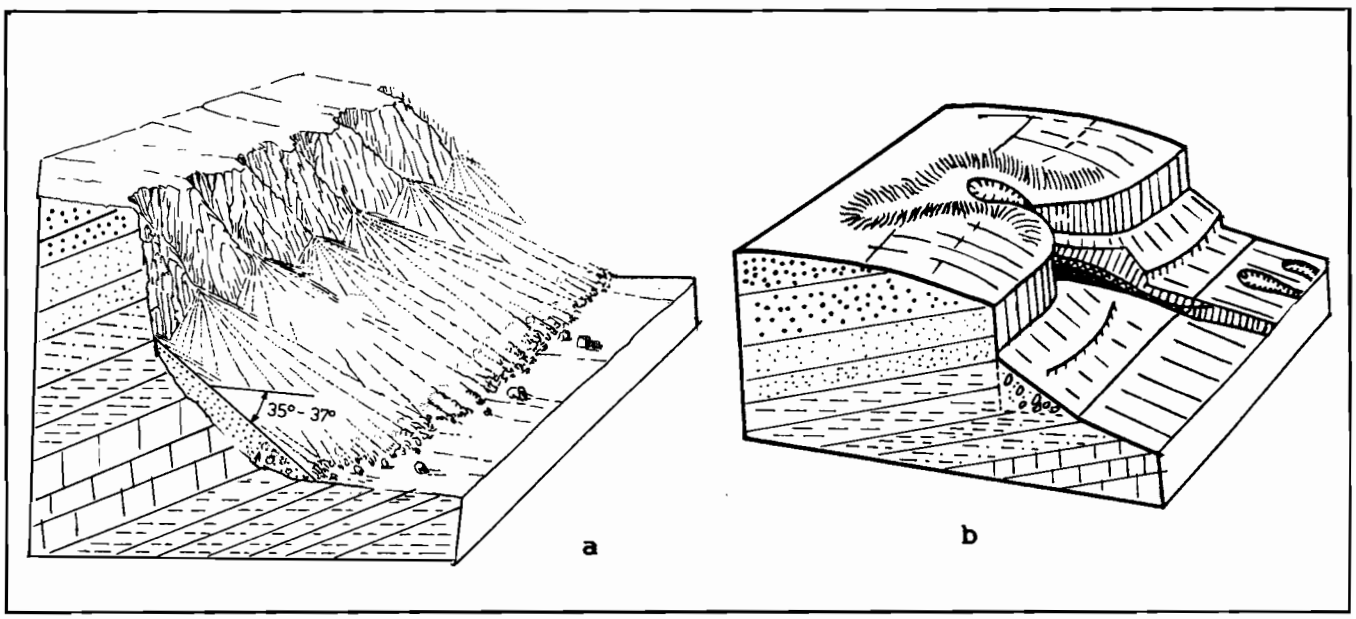


FIGURA 8.8 a) Conos de talud b) Escombros de talud

Si los detritos rocosos al rodar sobre la pendiente, no siguen ninguna orientación, se depositan a lo largo del talud, forman un depósito denominado Escombros de talud. Este tipo de depósitos, por lo general se halla compuesto predominantemente de fragmentos gruesos. (Figura 8.8b)

Pueden extenderse, hasta mas allá de los 300 mts, sus taludes varián entre los 25° a 40°. Generalmente, se establece que cuanto mayor es el ángulo, el material del depósito será más grueso. (Modelos estereoscópicos 2, 55, 65, 75, 76, 78, 80) .

La presencia de depósitos coluviales a lo largo de zonas donde existen cambios bruscos de nivel, como la presencia de escarpes pueden sugerir un tectónismo activo y reciente.

GEOFORMAS DEBIDAS A PROCESOS DE GLACIACION

CAPITULO IX

9.1 INTRODUCCION

La glaciación es otro proceso geomórfico importante en el modelado de la superficie terrestre, especialmente durante el Pleistoceno, época geológica en la cual gran parte de la superficie terrestre, se hallaba cubierta por el hielo.

R. F. Flint (1957) define a un glaciar como una masa de hielo, constituida principalmente por nieve recristalizada y compactada, que yace completamente sobre diferentes superficies del terreno y la cual se mueve actualmente o muestra evidencias de haber fluido en el pasado.

De acuerdo a la extensión, altitud, latitud, dimensiones, relieve y característícas de los glaciares, existen dos tipos de glaciación:

1) Glaciación de montaña

2) Glaciación Continental

9.2 GLACIACION DE MONTAÑA

La glaciación de montaña, llamada también de valle o alpina, ocurre en regiones con elevaciones que varían desde los 8000 metros hasta regiones a nivel del mar como en las regiones polares, pero siempre limitadas por la Línea de Nieve. En regiones de alta montaña, como la Cordillera de los Andes, los glaciares fluyen sobre un sistema de valles anteriores a la glaciación, que han sido modificados en sus formas y depósitos por la intensa acción erosiva y de acumulación que realizan los indicados glaciares o lenguas glaciares, cuyo movimiento es lento y canalizado en los valles. (Figura 9.1 y modelo estereoscópico 75).

En la fotografía aérea es posible identificar muchas de las formas de glaciación, dependiendo de sus dimensiones y escala de la fotografía áerea.

Para una descripción sistemática de las geoformas, se prefiere clasificarlas de acuerdo al principal proceso de glaciación responsable para su desarrollo.

Existen geoformas debido a la acción de los procesos de erosión de los glaciares y geoformas debido a procesos de acumulación que realizan los glaciares y ellas son:

- Geoformas debidas a procesos de erosión glaciar :

a) Circos glaciares

b) Aretes o aristas glaciares

c) Agujas glaciares o Horns

d) Valles glaciares o artesas glaciares

e) Valles colgantes

- Geoformas debidas a procesos de acumulación glaciar

a) Morrenas laterales

b) Morrenas terminales o frontales

c) Morrenas de fondo.

9.2:1 **Geoformas debidas a procesos de erosión glaciar.-**

9.2.1.1 **Circos glaciares .-** Constituyen una de las formas más características de la erosión glaciar. Consiste en una cuenca redondeada, con pisos ahuecados, semicircular en planta, parcialmente rodeada por paredes o escarpes verticales abruptos que algunas veces contiene en su piso a un pequeño lago, denominado lagos de circos o Tarn. Las paredes o escarpes verticales pueden alcanzar alturas que sobrepasan los 400 metros, dependiendo especialmente del tipo de roca y estructura afectadas; de la forma de la cabecera del valle preglacial, del régimen y duración del glaciar.

Se hallan ampliamente distribuidos tanto en áreas donde actualmente existe glaciación, como en aquellas áreas en las que fuerón afectadas en el pasado por la glaciación. En el caso último, la identificación de circos u otros rasgos de glaciación es de gran importancia, porque permite determinar las áreas que fueron afectadas por los procesos de glaciación. (Modelos estereoscópicos 15, 53, 54, 76, 77, 78 79, 81 y 82, figura 9.1).

El término circo comprende a un grupo de formas de apariencia y dimensiones muy variadas. En un extremo se hallan depresiones pequeñas y superficiales de unas pocas decenas de metros, mientras que en otros casos, el ancho de los circos sobrepasa el orden de los kilómetros, con paredes que sobrepasan de los 400 mts de altura. De igual manera ellos pueden ser simples, compuestos, colgantes, de dos pisos, etc. (Modelos estereoscópicos 75, 76, 77, 78, 15).

Los circos pueden estar ubicados, ya sea en las cabeceras de un valle, o también en forma independiente, sin relación de comunicación con los valles glaciares.

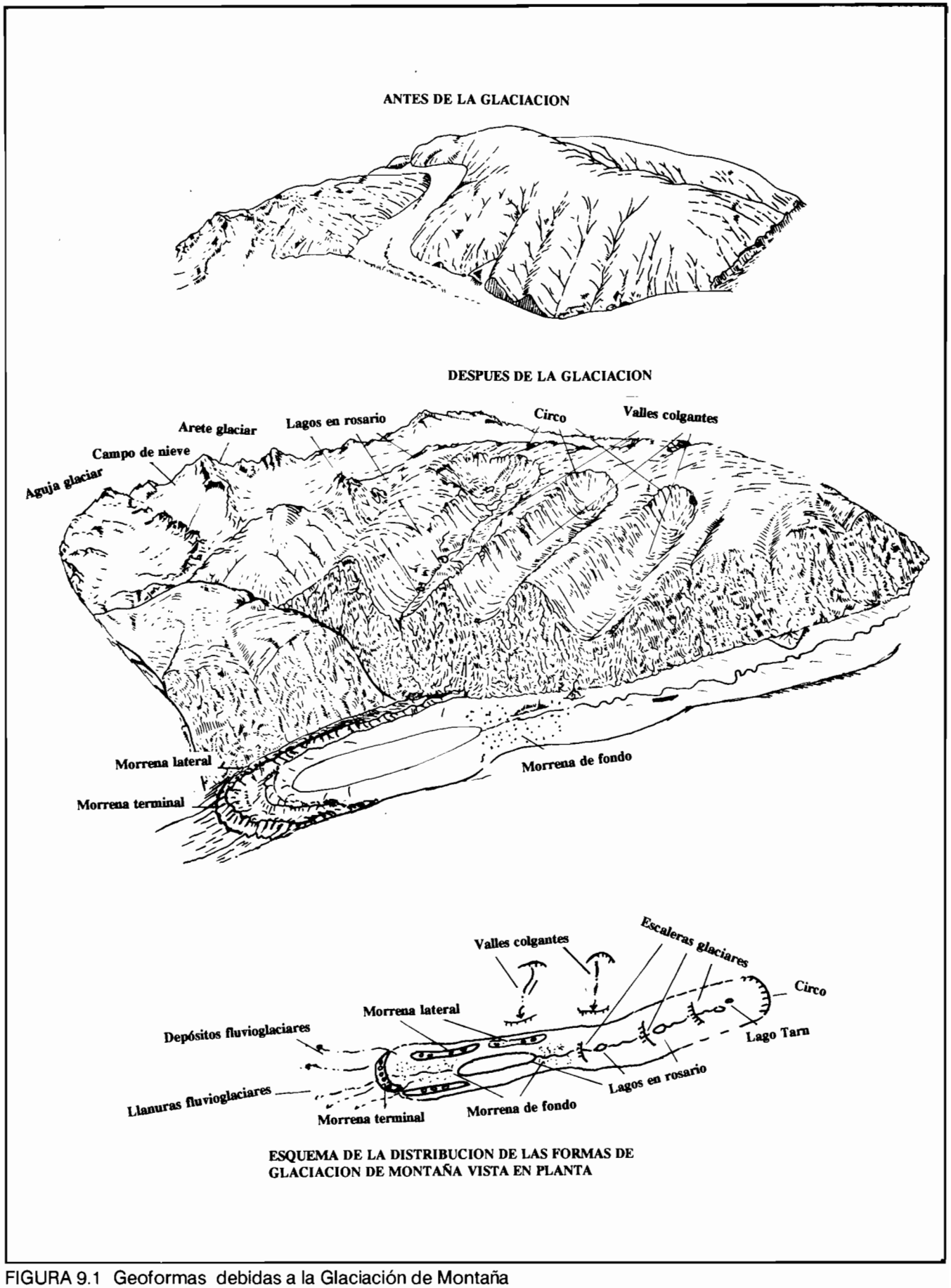


FIGURA 9.1 Geoformas debidas a la Glaciación de Montaña

La orientación de la mayoría de los circos en los ejemplos que se muestran en el texto, que corresponden a la cordillera Oriental de los Andes, se hallan ubicados sobre las laderas Sur y Oeste, permaneciendo hasta el presente como pequeños circos abandonados y glaciares de circo. (Modelos estereoscópicos 75, 76, 78 y 80).

En un circo que se halle bien desarrollado, es posible identificar los elementos o partes en las que se halla constituida. Ellas son: La cabecera, la cuenca y el umbral.

La Cabecera se halla constituída por paredes verticales, cuyas rocas generalmente se hallan disgregadas e incorporadas al cuerpo del hielo. La altura que tienen las paredes de la cabecera hasta el piso del circo varía de acuerdo a varios factores, que fueron nombrados anteriormente.

La Cuenca corresponde al piso del circo, que muestra evidencias de haber sido en su mayoría suavisado pero poco pulido. Otra característica de la cuenca, es su ahondamiento, que se extiende desde el pie de la cabecera hacia adelante, terminando en una pequeña elevación, constituida por roca, que corresponde al Umbral. Bajo esas condiciones, la cuenca del circo, puede ser el sitio de emplazamiento de pequeños lagos que reciben el nombre de lagos Tarn. (Modelos estereoscópicos 76 y 77)

9.2.1.2 **Aretes o aristas glaciares y agujas glaciares.-** Glaciólogos franceses, utilizan el término Arete, para referirse a aquellas crestas agudas y dentadas desarrolladas a medida que los circos se agrandan por efecto de la erosión y retroceso de sus cabeceras.

Cuando ocurre el crecimiento o ensanchamiento contínuo de circos ubicados en los lados opuestos de una cresta amplia de serranía o montaña, la cual separa ambos circos, esta cresta se va reduciendo en su ancho, y adquiere la forma de una cresta más angosta, que es denominada col que podría ser el equivalente de Paso o abra. Cuando dicho paso o col es reducido a una cresta más estrecha y delgada, como una cuchilla, se forma un arete o arista glaciar. (Figura 9.2)

Un proceso similar ocurre en la formación de una aguja glaciar también denominada Horn, pero en este caso son tres o más los circos, que participan en el proceso de erosión para el desarrollo de una aguja glaciar. (Figura 9.3)

9.2.1.3 **Valles glaciares o artesas glaciares** Son geoformas, resultantes de la acción de la erosión glaciar, que por sus considerables dimensiones, rasgos característicos y su asociación con otros rasgos de glaciación, pueden ser identificados con relativa facilidad en la fotografía aérea.

A pesar de la gran capacidad de los glaciares para esculpir valles, ninguno de los valles glaciares ha sido originalmente desarrollado por la sola acción de un glaciar, por el contrario, corresponden a valles fluviales preexistentes, ocupados posteriormente por glaciares y remodelados durante un largo período de tiempo.

Los valles glaciares, en algunos casos empiezan por debajo del borde inferior del umbral de los circos glaciares; y otros casos no existe ninguna relación con la presencia de circos.

Los valles glaciares, muestran características muy diferentes a la de los valles de origen fluvial, tanto en su perfil longitudinal como en el transversal.

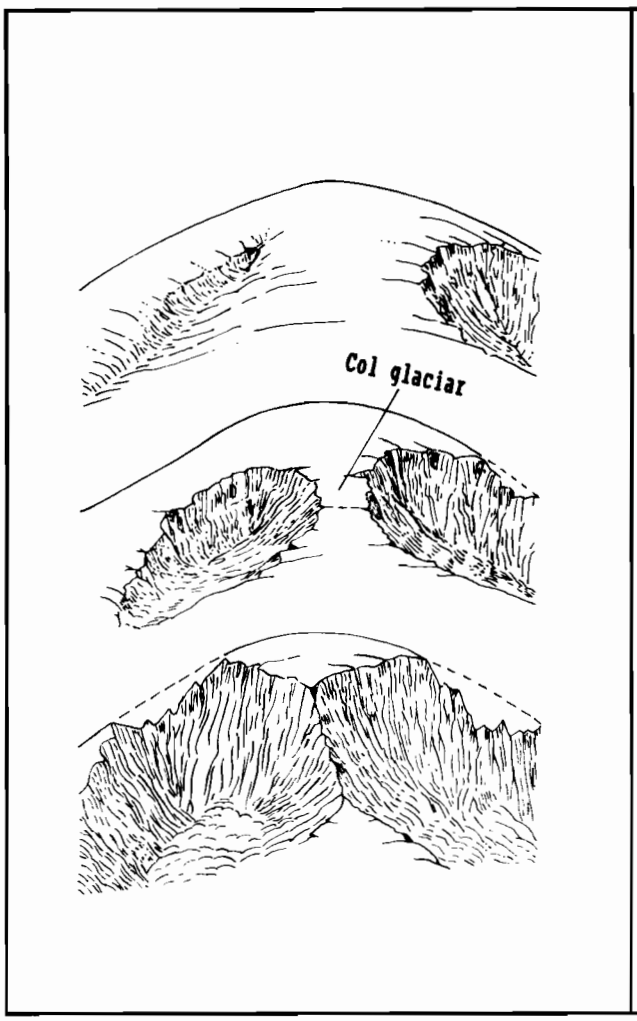


FIGURA 9.2 Desarrollo de aretes glaciares (según Davis W-M-1954)

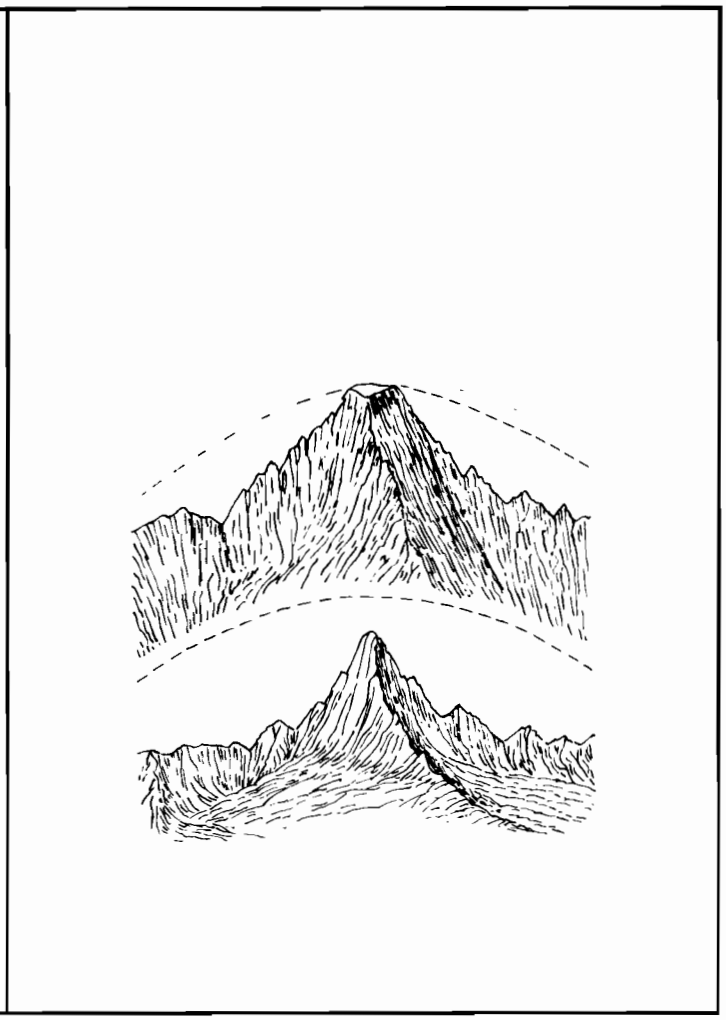


FIGURA 9.3 Desarrollo de circos glaciares (según Davis W.M-1954)

Perfil transversal Algunos investigadores describen al perfil transversal de un valle glaciar, como un valle en forma de U, sin embargo, otros consideran que no es el apropiado para designar la forma de los valles glaciares y prefieren compararlo con el perfil que muestra una curva catenaria, que al acercar sus extremos, la curva se hace más profunda o al alejarlos se hace más panda y superficial, pero en ambos casos, los lados son empinados. A pesar de las diferentes maneras de designar a la forma del perfil transversal de un valle, lo importante es recalcar, que de manera general el perfil transversal se caracteriza porque las paredes del valle son empinadas a verticales en sus sectores superiores y medios, mientras que la parte inferior es cóncava, con pisos de valle planos y en algunos casos los pisos pueden estar acompañados por depósitos postglaciales, aluviales, lacustres, etc. (Figura 9.4 a). Por lo general el ancho de estos valles es siempre mayor en relación a su profundidad.

Perfil longitudinal Si se compara la forma del perfil longitudinal de un valle fluvial con el de un valle glaciar, se establece que el perfil del valle fluvial, generalmente es representado por una curva hiperbólica, suavemente cóncava hacia arriba, cuya gradiente decrece en forma gradual aguas abajo; mientras que el perfil del valle glaciar, tiene un perfil totalmente irregular caracterizado por interrupciones a lo largo del perfil, traducido en cambios abruptos en la gradiente, marcado por cambios o saltos que son más pronunciados en la cabecera del valle que aguas abajo. (Figura 9.4 b y modelo estereoscópico 75)

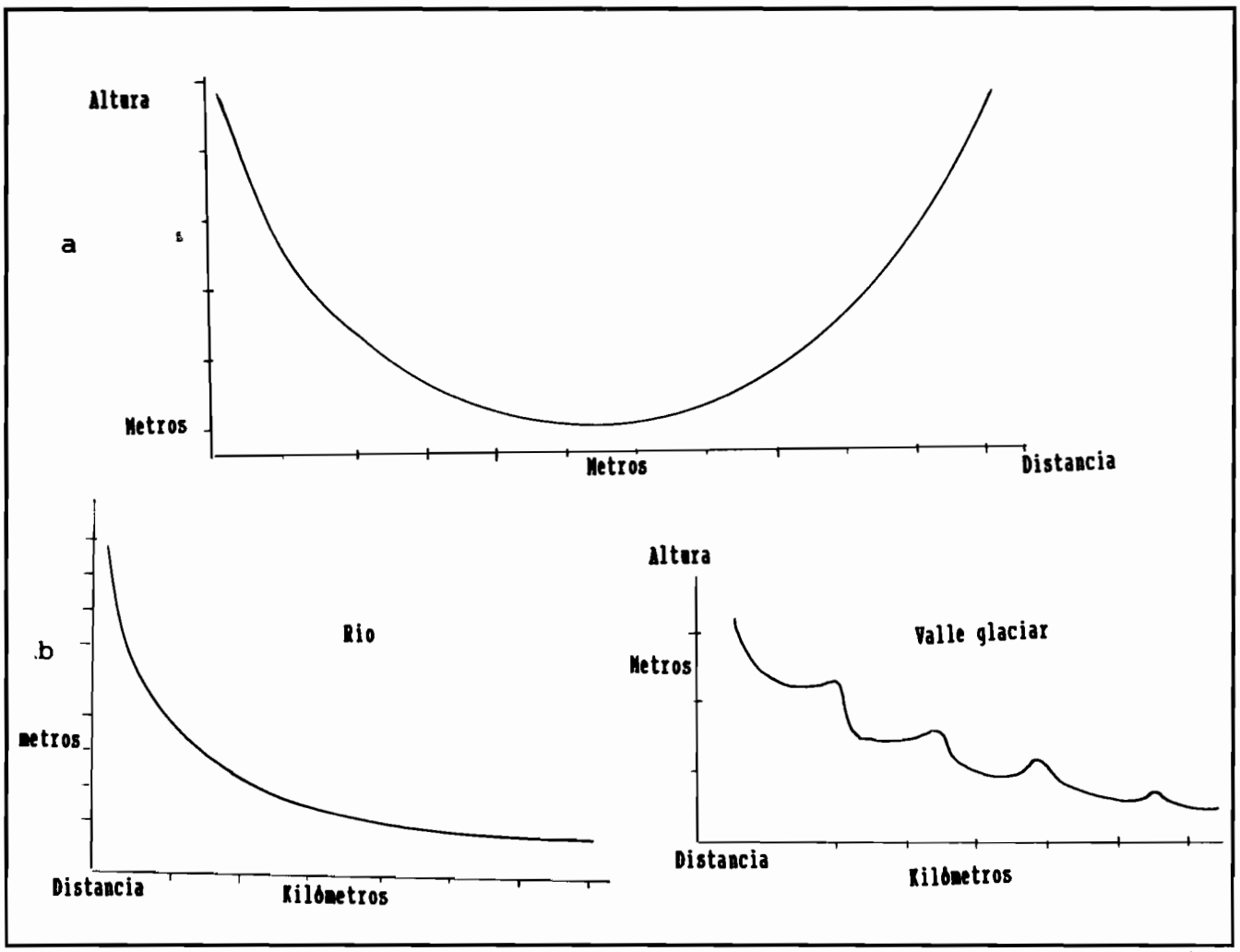


FIGURA 9.4 Perfil transversal (a) y longitudinal de un valle glaciar comparado con el perfil longitudinal de un río (b)

Por lo general estos saltos sobrepasan el orden de los 10 metros y por la frecuencia con que ellos se presentan tienen la apariencia de escalones, razón por la cual son denominadas escaleras glaciares. Cada escalón glaciar se halla constituido por tres partes: Contrahuella, manperlan y huella

La Contrahuella también llamada cresta corresponde al salto o caida, expresada en forma de paredes o farellones, cuyas alturas varían de acuerdo a su ubicación a lo largo del valle glaciar. Por lo general son de mayor altura, los ubicados aguas arriba, mientras que aguas abajo, la altura disminuye notablemente.

El Manperlan llamado también umbral es una barra rocosa, ubicada sobre la contrahuella, limitando a la huella y corresponde a la zona de menor excavación, razón por la cual tiene un relieve ligeramente encorvado, que define el borde externo de la huella.

La Huella también denominada cuenca o cubeta, corresponde al piso del valle, que se halla excavado y en la cual generalmente se halla emplazado un lago. El conjunto de lagos, ubicados en cada escalón glaciar, es denominado lagos en rosario por su semejanza con las cuentas de un rosario. (Modelo estereoscópico 75)

los valles glaciares son rectilíneos, sin muchas sinuosidades en su curso, que son más comunes en los valles fluviales.

9.2.1.4 **Valles colgantes.-** La confluencia entre los valles glaciarios, por lo general no se realizan en un mismo nivel, por lo tanto no existe concordancia entre el nivel del piso de un valle que desemboca en otro valle, quedando suspendido o elevado varias decenas de metros sobre el otro, dando lugar a la formación de saltos o cascadas. Estos valles son denominados Valles colgantes. (Modelos estereoscópicos 75, 76, 78)

Debido a que existen valles colgantes que son producto de otras causas, como fallamiento, la identificación de valles glaciarios colgantes en la fotografía aérea, debe ser realizada utilizando criterios que señalen otros rasgos de glaciación asociados a estos valles, como la forma, depósitos morrénicos, etc.

9.2.2 **Geoformas debidas a procesos de acumulación glaciar** Entre los rasgos más importantes producidos por efecto de la acumulación glaciar, se halla un grupo de depósitos denominados Morrenas, que se hallan constituidos por material depositado directamente por el hielo, denominado Till.

Las morrenas pueden ser clasificadas de acuerdo a su posición en relación al glaciar y al valle; de acuerdo a la actividad y al modo de su formación. Desde el punto de vista geomorfológico, la clasificación más apropiada es la relacionada con la posición de estos depósitos en el valle y el glaciar. De acuerdo a la indicada clasificación, las morrenas se dividen en: Morrenas laterales, Morrenas terminales o frontales que son las de mejor identificación en la fotografía aérea.

9.2.2.1 **Morrenas laterales** Son depósitos glaciares que se hallan ubicados entre las paredes del valle y el cuerpo del glaciar.

Entre los principales criterios para la identificación de las morrenas laterales se hallan los siguientes:

a) La forma es el criterio más importante, para su identificación. Corresponde a colinas o lomadas elongadas, ubicadas a lo largo de los bordes del glaciar y el valle. Generalmente, estas lomadas elongadas, culminan en crestas afiladas en forma de cuchillas. (Modelos estereoscópicos 61, 79,7 y 15)

   En algunos casos si el curso que tiene el valle es sinuoso, la morrena adoptará esa forma.

b) Las dimensiones que adoptan estas formas varian mucho de acuerdo a varios factores. Sin embargo, una característica es que la longitud de estas lomadas, sobrepasa en la mayoria de los casos a su ancho y altura. (Modelos estereoscópicos 61, 79, 7 y 15).

c) Se registran en tonos fotográficos blancos a gris claros que contrastan fuertemente con los tonos de la roca sobre las que descansan. (Modelos estereoscópicos 79, 61, 7, 15)

d) Cuando las morrenas laterales salen del valle, sus formas son más evidentes, contrastando con el relieve que le rodea. (Modelos estereoscópicos 79, 61 y 7)

e) En áreas que en el pasado se hallaron afectadas por glaciación y que en el presente, estos procesos se hallan ausentes, generalmente los únicos depósitos de glaciación, que permanecen como testigos de la existencia de dichos procesos, son los remanentes de morrenas laterales. Los criterios utilizados para la identificación de estos rasgos en la fotografía aérea, son los mismos a los descritos anteriormente. (Modelos estereoscópicos 81, 82, 83 79, 73, 43 y 47).

9.2.2.2 **Morrenas terminales o frontales.-** Se hallan ubicadas en la parte terminal de la lengua del glaciar y marcan etapas de avance o retroceso de los glaciares.

Los criterios utilizados para su identificación en la fotografía aérea son los siguientes:

a) Al igual que en la identificación de las morrenas laterales, la forma, constituye el criterio más importante. Se trata de colinas o lomadas elongadas, ubicadas en el frente de un glaciar, que en planta adquieren generalmente la forma de media luna o lobular. (Modelos estereoscópicos 75, 76, 78, y 80). Sin embargo, la expresión de las morrenas terminales, varia en función de las características del till que constituye la morrena, si es rico en contenido arcilloso, el relieve será suave, ondulado. Por el contrario si el till, está constituído por sedimentos de textura gruesa, el relieve será más conspícuo.

b) Teóricamente, una morrena lateral, gradualmente pasa a constituir una morrena terminal. Por lo general las morrenas no son contínuas, ellas se hallan cortadas o disectadas debido a varias causas. En algunos casos, es ocasionada porque los ríos provenientes del deshielo del glacial, disectaron la morrena en forma contemporánea a la formación de ella. En otros casos, estos quiebres o interrupciones en la continuidad de la morrena, se deben a la no deposición de sedimentos por la insuficiente carga que acarreaba el glaciar.

c) Por el avance y retroceso del glacial, este deja una serie de morrenas terminales que son llamadas de retroceso, desarrollando una faja de montículos y fosas parecidas a la topografía de lomadas y hoyos. (Modelo estereoscópico 80).

d) Las dimensiones de las morrenas frontales, son una función de varios factores entre los que hallan, el tipo y cantidad de carga, el movimiento del glaciar, el efecto de la ablasión glaciar, etc. En algunos casos sobrepasan los 100 metros de altura. Es común observar morrenas terminales de elevaciones mayores y gradientes más empinadas en glaciares de montaña, que en los continentales.

e) En algunos casos las morrenas terminales, al bloquear a los cursos de agua, provenientes del deshielo del glaciar, pueden formar lagos marginales, que luego pueden ser desaguados, cuando sus salidas son disectadas. (Modelos estereoscópicos 75 y 80)

f) Se registran en tonos fotográficos claros a gris claros.

9.2.2.3 **Morrenas de fondo.-** Este tipo de morrenas corresponde a la clasificación basada en su modo de formación. Las morrenas de fondo son depósitadas en forma subglacial y acumulada de diferentes maneras a lo largo del piso del valle, por donde fluye el glaciar.

Debido a la manera de formación de este tipo de morrenas, no desarrolla las formas que caracterizan a las anteriores morrenas. Por el contrario muestran un relieve bajo, ondulado y extendido en el piso del valle, que a veces por la heterogeneidad de los sedimentos acumulados, pueden desarrollar una topografía de hoyos y lomadas.

Una vez que los efectos de glaciación han desaparecido o dejado de actuar, los ríos con sus procesos de erosión y acumulación, suavizan y nivelan el relieve glacial, modificádolo hasta adquirir un relieve mucho más bajo, que puede ser confundido con los depósitos fluviales existentes en una llanura aluvial.

Se registran en tonos fotográficos gris a gris oscuros.

Un paisaje producto de la glaciación de montaña, en el cual ya no existen procesos activos de glaciación, conserva ciertas características, que en ningún caso pueden ser confundidos con otros paisajes, ya que los efectos de la abrasión glaciar, han modificado el microrelieve de las rocas que fueron cubiertas por el hielo glaciar, dando al relieve superficial actual un aspecto rugoso y áspero, que enmascaran las características superficiales y la expresión morfológica original que mostraban las rocas, antes de la glaciación. (Modelos estereoscópicos 75, 76,77, 82, 83). Lógicamente este paisaje muestra además una asociación de remanentes de circos, morrenas y valles, etc.

9.2.3 **Geoformas fluvioglaciales.-** Los depósitos glaciares tomados y transportados por los ríos que fluyen por el cuerpo del glaciar ya sea en forma superficial o subterranea, luego de recorrer el área glaciada, y disectar morrenas terminales, empieza a depositar su carga, formando depósitos que han sido denominados fluvioglaciares desarrollando geoformas muy características entre las que se mencionan a las siguientes:

- Llanuras fluvioglaciares
- Abanicos y conos de transición
- Depósitos de transición encauzados de valle (valley train)

Existe otro grupo de geoformas fluvioglaciares, cuya formación se halla directamente relacionada con su acumulación en directo contacto con el hielo que ha quedado estancado, cuyas formas más importantes son las siguientes:

- Eskers
- Kame
- Terraza Kame

Los criterios utilizados para la identificación de las llanuras fluvioglaciares se hallan relacionados con la forma misma que posee una llanura y en especial su posición en relación con el frente del glacial.

De la misma manera, abanicos y conos aluviales, son identificables en la fotografía aérea, utilizando los mismos criterios anteriormente señalados para la identificación de llanuras fluvioglaciares. Los criterios para la identificación de las restantes geoformas, se describirán en forma conjunta con las formas asociadas con las producidas por la glaciación continental.

9.3 GLACIACION CONTINENTAL

La glaciación continental, se diferencia de la glaciación de montaña, por la manera de alimentación, la mecánica de su movimiento, el tamaño, espesor, gran extensión que ocupan los mantos de hielo y su ubicación que corresponde a las latitudes más altas de ambos hemisferios, como ocurre actualmente en las regiones polares. (Groenlandia y la Antártida).

Durante el Pleistoceno, se hallaba ampliamente distribuida, llegando a cubrir casí en su totalidad a Europa y Norte América. En la época actual, dichas áreas pueden ser identifificadas en base a los depósitos y formas dejadas por la indicada glaciación.

Al igual que en el caso de la glaciación de montaña, para los fines del presente texto, los depósitos y las geoformas debidas a los efectos de la glaciación continental, que pueden ser identificados en las fotografías aéreas se las clasifica de acuerdo a la predominancia de los procesos de erosión y acumulación responsables para su formación. Ellas son:

- Geoformas debidas a procesos de erosión glaciar :

a) Llanuras glaciarias limadas

- Geoformas debidas a procesos de acumulación glaciar

a) Llanuras de Till y morrenas de fondo

b) Morrenas terminales

c) Drumlins

9.3.1 **Geoformas debidas a procesos de erosión glaciar.-** A diferencia de las formas de erosión glaciar asociadas con la glaciación de montaña; las formas de erosión son muy pocas, debido al relieve bajo y suave asociado con la glaciación continental.

Por ello la geoforma de erosión más característica, que puede ser identificada en la fotografía aérea, corresponde a la llanura glaciaria limada.

9.3.1.1 **Llanuras glaciarias limadas** Este tipo de llanura, corresponde a un conjunto de formas, que se desarrollan por el paso de los mantos o calotas de hielo sobre una superficie rocosa cuyo relieve es suavisado, adquiriendo una expresión casi horizontal, sobre el cual se puede observar el desarrollo de superficies estriadas, acanaladas, pulidas, protuberancias rocosas redondeadas o rocas aborregadas y depresiones rocosas.

Ejemplos típicos de este clase de llanuras, se observan solamente en las zonas correspondientes al área de afloramiento del escudo canadiense y partes de Finlandia y Escandinavia. Los tonos fotográficos de registro varían desde tonos de gris a gris oscuros, caracterizado por una textura tonal muy aspera.

9.3.2 **Geoformas debidas a procesos de acumulación glaciar.-** Los depósitos y geoformas producto de los procesos de acumulación, constituyen el grupo más importante de las formas asociadas con la glaciación continental.

9.3.2.1 **Llanuras de till y morrenas de fondo.-** Los depósitos acumulados en forma subglacial o por debajo del glaciar, se denominan genéricamente Morrenas de fondo Cuando los mismos depósitos adquieren grandes espesores y cubren áreas que sobrepasan los 300 Km^2 desarrollan un relieve, que ha sido denominado **Llanura de till**, caracterizado por mostrar una topografía de hoyos y lomadas o montículos, con diferencias mínimas en el relieve, que en la mayoría de los casos varía entre 3 y 15 metros.

En la fotografía aérea, puede ser identificada por un diseño de tono característico, denominado diseño de tono nebuloso, por la apariencia nubosa en que se registran los depósitos que constituyen esta llanura. Por lo general estos depósitos son una mezcla de material muy heterogéneo, con grandes diferencias texturales y de contenido de humedad, que da lugar a un registro muy fino y denso de tonos fotográficos oscuros y claros, que dan la apariencia nubosa, mencionada anteriormente.

El diseño de drenaje que se desarrolla sobre una llanura de till, depende de la textura del material predominante. El diseño de drenaje será dendrítico, si el till es predominantemente arcilloso, por el contrario; si el till es de textura más gruesa, la superficie será muy permeable y el drenaje estará ausente o desarrollará muy pocas líneas de drenaje.

9.3.2.2 **Morrenas terminales.-** Los depósitos más importantes acumulados por los glaciares, corresponden al grupo de las morrenas terminales.

Para su identificación en la fotografía aérea, se puede tomar en cuenta las mismas consideraciones y criterios utilizados para la identificación de morrenas terminales asociadas con la glaciación de montaña, que fueron descritos anteriormente.

9.3.2.3 **Drumlins** A pesar de existir diferentes teorías que tratan de explicar el modo de formación de estos depósitos, todos concuerdan, que han sido formados por el hielo en movimiento.

Los drumlins varían considerablemente en la mayoría de sus características, tales como elongación, espaciamiento, tamaño y material del que están constituidos, sin embargo tienen un rasgo esencial en común, el cual es básico para su identificación en las fotografías aéreas, se trata de la forma, que es la misma, donde quiera que ellos se presenten.

A continuación se presentan algunos de las características y criterios, que pueden ser utilizados para la identificación de Drumlins en las fotografías aéreas.

a) Son colinas o lomadas suaves, elongadas, que adquieren una forma aéreodinámica muy característica y común, que puede ser comparada a la de una cuchara invertida, con el eje mayor paralelo a la dirección del flujo del glaciar. Otros investigadores la comparan con la forma del lomo de una ballena. Algunas veces las formas varían y presentan formas muy estrechas, con lados empinados.

b) Las dimensiones son muy variadas y se hallan en función de varios factores. Existen drumlins, cuyas longitudes varían entre los 200 a 2000 metros, el ancho entre 10 y 600 metros, y alturas desde los 3 a los 30 metros.

c) Es mas común, que se hallen presentes en grupos, orientados con la dirección del movimiento del hielo, ubicados sobre las llanuras de till. Generalmente son llamados campos de drumlins en los cuales muestran un paralelismo muy marcado, dando lugar al desarrollo de un diseño de drenaje modificado del parrilla o trellis.

d) Los drumlins pueden estar compuestos de una amplia variedad de material, entre los que además pueden hallarse materiales depositados por el agua, aunque consisten principalmente de till, depositado directamente por el hielo. Algunos drumlins consisten íntegramente de arcilla, mientras que en otros predominan el till arenoso. Los bloques que se hallan incluidos en los tills, generalmente toman una orientación preferente con la dirección del eje mayor del drumlin.

e) Los tonos fotográficos de registro, generalmente son uniformes, de tonos gris claros, aunque el piso donde los drumlins reposan, adquieren tonos más oscuros.

f) Los drumlins no son destruidos, cuando ellos son sometidos a sucesivos movimientos del hielo, aunque son modificados en su dirección original.

9.3.3 **Geoformas de origen fluvioglaciar** En la sección correspondiente a las geoformas fluvioglaciares asociadas con la glaciación de montaña, se hicieron algunas consideraciones con relación a este tipo de geoformas, habiendo establecido que ellas pueden ser agrupadas en dos categorías. En la primera se incluyen aquellas asociadas a depósitos proglaciares, o sea los acumulados más alla de los límites del glaciar.

La mayoría de los ríos proglaciares, nacen ya sea en los márgenes, sobre o bajo la superficie del cuerpo del glaciar, los que transportan gran cantidad de material muy heterogéneo, para depositarlos tras las morrenas terminales disectadas, desarrollando geoformas entre las que se mencionan las siguientes:

- Llanuras fluvioglaciares
- Abanicos y conos de transición

El segundo grupo de geoformas corresponde a aquellas que son el resultado de la deposición del material glaciar en contacto directo con el hielo estancado, entre los que se hallan los siguientes:

- Eskers
- Kame
- Terraza Kame

Los criterios utilizados para la identificación de las llanuras fluvioglaciares se hallan relacionados con la forma misma que posee una llanura y en especial su posición en relación con el frente del glacial.

De la misma manera, abanicos y conos aluviales, son identificables en la fotografía aérea, utilizando los mismos criterios anteriormente señalados para la identificación de llanuras fluvioglaciares.

Un tipo especial de llanura fluvioglacial es la llanura de lomadas y hoyadas, se caracterizan por su superficie casi plana y por la gran cantidad de hoyos glaciares (Ketles) muchos de los cuales forman pequeñas lagunillas y charcos de formas muy variables.

9.3.3.1 **Eskers** Constituyen las formas más sobresalientes, producto de la acumulación de material glaciario estratificado en contacto directo con el hielo estancado.

a) Son colinas o lomadas muy alargadas, estrechas, que serpentean sobre las llanuras, muy parecidas a las curvas de los meandros de un río.

b) La longitud de un esker varía desde unos cuantos cientos de metros a longitudes que pueden sobrepasar el orden de los 100 kilómetros, su altura varía entre los 3 y 40 metros, mientras que su ancho varía entre unos cuantos metros a 60 metros. Las laderas son empinadas, con ángulos de reposo, que llega a los 30^{o}.

c) Normalmente se presentan aisladas. Aunque también existen bifurcaciones. En algunos casos los eskers son compuestos, formando un sistema trenzado o reticulado de eskers, que a veces constituyen una red de eskers.

d) Los eskers pueden subir por un valle, cruzar o pasar por divisorias muy bajas y luego descender por las laderas, en otros casos cruzan a otras formas tales como morrenas deltas, abanicos.

e) Los principales sedimentos que constituyen un esker, son arena, grava y guijarros, con porcentajes menores de arcilla. Por esta característica, son muy importantes como materiales de préstamo, para su uso en la contrucción de carreteras u otras obras de ingeniería.

f) Se registran en tonos claros, que contrastan con el piso que se registra en tonos más oscuros.

9.3.3.2 **Kames** A pesar que el término kame, puede producir confusiones en su uso, pero generalmente muchos concuerdan que este término se lo utiliza para definir a aquel depósito integrado por material muy mal seleccionado, generalmente se hallan constituidos por arena y grava, depositados en contacto directo por el hielo estancado, que adquiere la forma de un pequeño montículo redondeado y aislado.

Por el contrario las Terrazas Kame no se presentan aisladas, constituyen formas más contínuas, ubicadas a lo largo de las paredes del valle.

GEOFORMAS DEBIDAS A PROCESOS EOLICOS

CAPITULO X

10.1 INTRODUCCION

En regiones desérticas y subdesérticas, el modelado del relieve, presenta características muy especiales que difieren de otras regiones de condiciones climáticas húmedas y templadas. Montañas y macizos tienden a desarrollar formas angulosas aunque también existen formas redondeadas, las pendientes o taludes son empinadas, existen evidencias de una activa acumulación y una ausencia marcada de suelos, los procesos son intermitentes y frecuentemente relacionados entre si, como ocurre con los flujos laminares y torrentes de barro con períodos intensos de lluvia espaciados y a intervalos irregulares de tiempo.

Los procesos de erosión y deposición, varían de acuerdo a los cambios ambientales en el tiempo y en el espacio, en los cuales también juegan un rol importante la litología y la tectónica.

Los movimientos tectónicos pueden crear una combinación anómala de condiciones en zonas áridas y semiáridas y complican la reconstrucción de eventos climáticos pasados.

La litología, también es importante en la determinación del carácter de las geoformas, en este tipo de condiciones.

El desarrollo de geoformas bajo condiciones de aridez y semiaridez varian con la latitud y altitud, y en menor grado con la intensidad y frecuencia de lluvias.

Se ha demostrado, que los paisajes desérticos y subdesérticos, son más que todo producto de la acción combinada de varios procesos, siendo el principal el agua corriente, y no así como generalmente se cree que el viento y los procesos eólicos sean los más importantes. Si bien es cierto, que en aquellas zonas donde existen depósitos lacustres, el trabajo que realiza el viento es importante, por la facilidad con que esos sedimentos pueden ser fácilmente erodados, transportados y redistribuidos, debido a su textura fina y poca cohesión. De igual manera, las áreas de acumulación de arena, por efecto del viento, constituyen sólo una proporción muy pequeña en relación al área total de las regiones áridas.

Sin embargo por las geoformas de acumulación, que produce el viento, que impresionan muy bien a la vista y por la facilidad con que ellas pueden ser identificadas no sólo por especialistas sino por cualquier persona, tanto en el campo como en las fotografías aéreas, es que ellas son más estudiadas y conocidas.

10.2 GEOFORMAS DEBIDAS A LA ACUMULACION EOLICA

De acuerdo al tipo de material acumulado por el viento, se desarrollan dos grupos de geoformas, las que pueden luego ser subdivididas en grupos menores de forma, de acuerdo al modo de su formación y expresión morfológica. Ellas son:

a) Geoformas constituidas principalmente por arena

- Mantos de arena o llanuras de arena (Selima)
- Acumulaciones irregulares de arena
- Campos de Dunas (Erg)
- Dunas o Médanos:

  Transversales

  Longitudinales

  Barjan o media luna

  Parabólicas

b) Geoformas constituídas principalmente por sedimentos finos tipo limo.

- Llanuras de Loess

10.2.1 **Mantos de arena.-** Se trata de superficies rocosas muy planas, horizontales, de grandes extensiones, que sobrepasa los miles de kilómetros cuadrados, las cuales se hallan cubiertas por una delgada capa o cubierta de arena. En Libia, recibe el nombre de **Selima**. El tamaño de los granos de arena es de mayor tamaño que los que constituyen las dunas de arena. Se registra en tonos fotográficos claros a blancos.

10.2.2 **Acumulaciones irregulares de arena o Goze.-** se desarrollan cuando la arena transportada por el viento, encuentra en su recorrido un obstáculo, tales como arbustos, pedrones, escarpes, a consecuencia de ello, la arena es depositada, formando depósitos de formas muy irregulares, que en la fotografía aérea, no son de fácil identificación.

10.2.3 **Campo de dunas o Erg.-** A diferencia del **Reg** y las **Hammadas** que corresponden a áreas de desierto rocoso, como el producto de la acción combinada de la deflación y abrasión del viento;

el **Erg** corresponde a áreas de acumulación de arena, por acción exclusiva del viento, caracterizada por un relieve plano sobre el cual se hallan distribuídos grupos de dunas de diferentes formas y características.

La gran acumulación de estos depósitos de arena, que son necesarios para que se forme un Erg, podría ser explicado por una activa redistribución de depósitos aluviales, que fueron acumulados en cuencas lacustres, en períodos lluviosos del Cuaternario. Sin lugar a dudas, parte de ella, puede derivar también de bancos de areniscas, que han sido fuertemente erosionados, y retrabajadas por el agua, para luego ser redepositadas.

Cuando el suministro de arena, es restringido, solo se podrán formar dunas aisladas, mantos de arena.

La complejidad de las dunas que se hallan en los campos de dunas, no permiten la descripción total de la gran variedad de las formas existentes. Por ello, es posible referirse solamente a los principales tipos, entre las que se puede mencionar a las **Dunas transversales, longitudinales, piramidales o estelares** y las **dunas semilunares o Barjan**, que no son muy comunes en los Ergs y parecen estar más asociadas con áreas donde el aporte de arena es intermitente, y a diferencia del Erg, son altamente móviles y discontínuas.

Los ejemplos más sobresalientes de estos campos de dunas se hallan en su mayoría ubicados en el Sahara, separados por afloramientos de roca sedimentaria e ígnea. Entre los principales campos de dunas o Ergs de esta región se hallan El Gran Erg Oriental, el Gran Erg Occidental, el Erg Chech, el Erg Issaquane el Erg Quarane y otros.

En la fotografía aérea se registran en tonos muy claros a blancos.

10.2.4 **Dunas o Médanos.-** Son depósitos de arena móviles, formados bajo la acción predominante del viento y cuyo desarrollo es independiente del relieve y de los obstáculos presentes, alcanzando su máximo desarrollo en terrenos relativamente planos.

Las dunas, pueden formarse tanto en los desiertos, como en aquellas áreas abiertas, en las cuales exista un buen aporte de arena y vientos fuertes, como en las márgenes de ríos, frentes de glaciares, áreas de costas marinas, áreas que rodean lagos en regiones semiáridas, etc. En regiones semihúmedas las dunas están cubiertas por hierbas y corresponden al grupo de dunas estabilizadas o fijas.

La identificación de dunas, en las fotografías aéreas e imágenes de satélite es sencilla, por las formas tan características que ellas tienen. (Foto 1.5)

El reconocimiento de dunas, en áreas donde en años anteriores no se observaban dichas formas, son una importante guía para identificar aquellas zonas, que por efectos relacionados ya sea por deforestación, erosión activa de suelos, se está produciendo un cambio en las condiciones climáticas de la región, hacia condiciones de semiáridez o áridez. (Modelo estereoscópico 3 - Rio Piraí - Santa Cruz - Bolivia).

Debido a la gran variedad de formas que adquieren las dunas, no es posible realizar una descripción de todas ellas, razón por la cual solo se describe aquellas que pueden ser individualizadas e identificadas con relativa facilidad en la fotografía aérea.

Son formas inestables ya que ellas cambian de formas y migran por efecto del viento y corresponden al tipo de dunas móviles. La migración cesa, cuando se hallan cubiertas por vegetación. (Dunas fijas)

Los factores que deben ser tomados en cuenta cuando se realizan estudios relacionados con la identificación, clasificación y descripción de los diferentes tipos de dunas, son los siguientes:

- Dirección predominante del viento
- Efecto de vientos cruzados
- Areas de suministro de los sedimentos. (Depósitos aluviales, líneas de costa, depósitos fluvioglaciares, depósitos eólicos antiguos, etc)
- Condiciones climáticas
- Volumen disponible para el transporte de sedimentos

10.2.4.1 **Dunas Transversales.-** Como su nombre lo indica, ellas se forman transversalmente a la dirección del viento, existiendo la opinión generalizada que se hallan asociadas con vientos moderados.

Estas dunas tienen forma de serranías o colinas transversales a la dirección del viento, generalmente se presentan en grupos. Las laderas son muy irregulares, siendo la más empinada la que se halla orientada con la dirección del viento, mientras que la ladera orientada contra la dirección del viento, es más suave. Los extremos o puntas de las dunas transversales se extienden en dirección del viento. En la mayoría de los casos, pueden desarrollar formas parecidas a las dunas Barjan. (Figura 10.1)

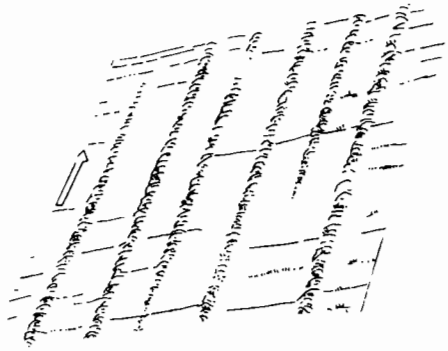
Se registran en tonos fotográficos claros a blancos, cuando se hallan libres de vegetación. Cuando se hallan estabilizadas por la vegetación, los tonos se vuelven gris oscuros.

10.2.4.2 **Dunas Longitudinales.-** son denominadas también **Seif**, se caracterizan por constituir colinas de forma alargada y estrecha, desarrollando crestas agudas en forma de cuchillas. Las laderas son asimétricas, posiblemente debido a las variaciones en los vientos secundarios. (Figura 10.1)

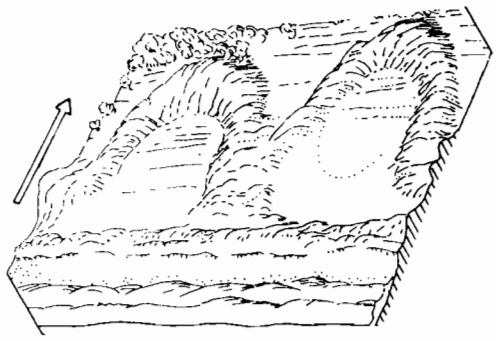
Las dunas longitudinales se hallan orientadas en dirección paralela al viento y es aceptado que deben su formación a la acción de vientos muy fuertes con una sola dirección predominante.

Las dimensiones de este tipo de dunas son notables, en algunos casos, logran alturas que sobrepasan los 100 metros. Por lo general existe una relación en la que el ancho es aproximadamente seis veces su altura. Las longitudes varían desde unos cuantos kilómetros hasta cientos de kilómetros. Se presentan en grupos y alineadas.

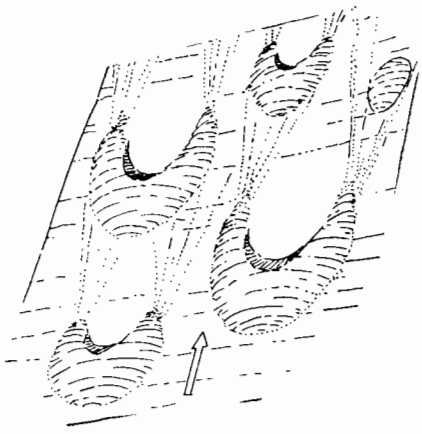
Es muy común encontrar entre las alineaciones de las dunas longitudinales, fajas donde aflora el piso rocoso del terreno, que se denominan **Gassi**, si el afloramiento de roca no es visible se llama **Feidj**, registrándose en la fotografía aérea en tonos gris oscuros, que contrastan con los tonos claros en que se registran las dunas longitudinales.



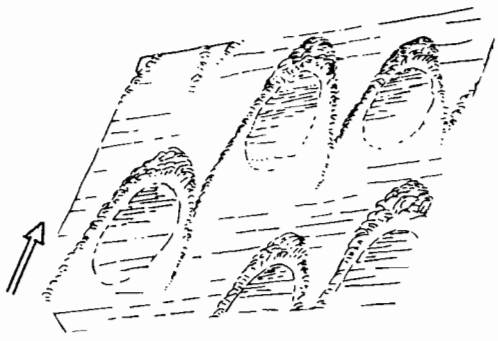
Dunas Longitudinales o Seif



Dunas Transversales



Dunas Barjan



Dunas Parabòlicas

FIGURA 10.1 Tipos de dunas

10.2.4.3 **Dunas Piramidales o Estelares.-** En los desiertos la dirección de los vientos es variable y en aquellos lugares donde los vientos soplan oblícuamente, localmente pueden modificar la forma de las dunas longitudinales, desarrollando dunas cuyo aspecto es similar a la de una piramide. Con frecuencia se hallan ubicadas en los márgenes de los Gassis, donde adquieren la apariencia de crestas de gallo.

10.2.4.4 **Dunas Lomos de Ballena.-** Este tipo de dunas, que son también longitudinales, se caracterizan por sus enormes dimensiones y sus formas, que semejan al lomo de la ballena, por lo que sus crestas son amplias y redondeadas.

Las dimensiones normales sobrepasan el orden de los cien kilómetros en longitud, anchos por encima de los dos kilómetros y alturas por encima de los 35 metros.

10.2.4.5 **Dunas Semilunares o Barjanes.-** Este grupo particular de dunas, que muestra tanto características de las dunas longitudinales como de las transversales, se desarrollan por la acción combinada de vientos moderados y aportes de arena también moderados, razón por la cual es posible que ellas sean menos comunes en los ergs y por el contrario abunden como dunas aisladas en regiones asociadas a márgenes de ríos, lagos de regiones semiáridas, etc. (Foto 1.5)

Las principales características de estas dunas aisladas son las siguientes:

a) Tiene la forma de media luna, con desarrollo de crestas agudas, laderas empinadas en dirección del viento y pendientes suaves en dirección contraria al viento, de manera que el lado cóncavo corresponde a la dirección del viento, mientras que el lado convexo está en dirección opuesta al viento. La punta de los cuernos, se halla orientada en dirección paralela al viento. Los extremos de los cuernos son más bajos que los de la cresta central. (Figura 10.1, modelo estereoscópico 3 y foto 1.5)

b) Pueden existir aislados como también en grupos. El espaciamiento y tamaño entre estas dunas, se halla en función del abastecimiento de arena. Cuando el aporte de arenas es grande las dunas tienen dimensiones mayores y se hallan poco espaciadas.

c) Las dunas barjan se caracterizan por migrar grandes distancias, hasta detenerse en zonas donde encuentren cambios en condiciones de humedad, o presencia de vegetación.

d) Se registran en tonos fotográficos muy claros a blancos.

10.2.4.6 **Dunas Parabólicas.-** Este grupo complejo de dunas, se forma en aquellas zonas donde existen marcadas variaciones en la dirección del viento, se la considera como producto del efecto combinado de la acción erosiva y de acumulación del viento, que actúan en depresiones de forma de cuchara, y de profundidades mayores a 40 metros. La forma de estas dunas es parecida a las dunas barjan, con las puntas de los cuernos más próximas, y orientadas en sentido opuesto a la dirección del viento. Ambas laderas tienen inclinaciones que varian entre 28^{o} y 36^{o}. Se registran en tonos fotográficos gris a gris oscuros, de apariencia uniforme y de textura fotográfica suave. (Figura 10.1)

10.2.5 **Llanuras de Loess.-** El Loess es un sedimento de grano fino que se ha sido transportado y depositado por el viento.

Se halla compuesto principalmente por sílice, y en menor cantidad puede contener material calcáreo: Los depósitos de Loess se hallan ubicados en diferentes regiones del mundo, siendo los más importantes, los ubicados en China, Patagonia (Argentina) y EE.UU. todos ellos se caracterizan por sus grandes espesores.

Generalmente se halla cubriendo en forma de un manto al relieve preexistente, nivelando dicho relieve, que corresponde al de una llanura.

Cuando una llanura de Loess no ha sido disectada, ella puede desarrollar una superficie casi plana o suavemente ondulada. Cuando ella es disectada, desarrolla una serie de serranías paralelas, orientadas con la dirección del viento.

Por la composición casi uniforme, las serranías desarrollan laderas simétricas y uniformes.

El diseño de drenaje, que generalmente desarrolla corresponde al dendrítico, tipo pectíneo, de alta densidad o uniformidad, sin control y angularidad, con ángulos de junta de 90^{o}.

Se registran en tonos fotográficos gris a gris oscuros, de pariencia uniforme y de textura fotográfica suave.

CAPITULO XI

TIPOS DE INFORMACION GEOLOGICA OBTENIDA DE LA FOTOGRAFIA AEREA

11.1 INTRODUCCION

Tres son los tipos de información geológica que se puede obtener de las fotografías aéreas. Ellas son las siguientes:

a) Información litológica

b) Información estructural

c) Información morfológica

La cantidad de la información geológica que se obtiene de las fotografías aéreas, depende de varios factores. Los más importantes son:

a) Características geológicas del terreno

b) Condiciones climáticas

c) Características morfológicas y evolución geomórfica de la región

En general, áreas con afloramientos de rocas sedimentarias, suministran mayor información, que aquellas áreas con afloramientos de rocas ígneas o metamórficas.

Areas con afloramientos de rocas metamórficas, ofrecen menor información en relación al otro tipo de rocas.

En el caso de regiones con afloramientos de rocas sedimentarias, la información será mayor cuanto menos deformadas se encuentren o se hallen asociadas con rocas ígneas o metamórficas.

De igual manera, las condiciones climáticas, definen la cantidad de información que puede obtenerse en las fotografías aéreas. Regiones de climas áridos y semiáridos, suministran mayor

cantidad de información, ya que la ausencia de la cubierta vegetal, permite que los afloramientos de roca y la estructura geológica, puedan ser fácilmente identificables en las fotografías aéreas. Por el contrario regiones de clima tropical, con una cubierta densa de vegetación, suministrarán menor cantidad de información geológica.

El tercer factor que determina la cantidad de información que puede obtenerse de las fotografías aéreas, es el relacionado con las características geomorfólogicas del relieve y la evolución del mismo.

Regiones de relieve plano o ligeramente ondulado ofrecen menor cantidad de información geológica que aquellas donde el relieve es montañoso y quebrado.

Si se analiza la evolución geomórfica de una región, y se establece el estado de su desarrollo de acuerdo al conocido Ciclo Geomórfico Fluvial, las regiones que se hallan en el estado de madurez, ofrecerán mayor cantidad de información en comparación a los otros dos estados de juventud o senectud. La razón para que ocurra esto, es que en el estado de madurez, el relieve o el paisaje se halla ajustado al control de la estructura geológica y al tipo de litología, razón por la cual el mismo relieve y drenaje, reflejan esas condiciones, permitiendo en la mayoría de los casos, que por el ánalisis del relieve y el drenaje se llegue a inferir las condiciones estructurales y litológicas de una región.

Por lo tanto las regiónes semiáridas, con afloramientos de rocas sedimentarias, asociadas a un relieve montañoso, suministrarán mayor cantidad de información, que aquellas regiones tropicales, de relieve plano.

11.2 INFORMACION LITOLOGICA

Es importante establecer que de acuerdo a la clasificación petrológica de las rocas, los tres grandes grupos de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, se hallan constituidas a su vez por gran variedad de rocas, que pueden sobrepasar cientos de especies individuales, que solamente son diferenciables en base a su composición mineralógica, composición química, características texturales, que solo pueden ser realizada mediante estudios petrográficos detallados, complementados con análisis quimicos de laboratorio tanto por via seca como húmeda.

Por lo tanto, la identificación de todas las especies individuales de rocas que pertenecen a cada uno de los tres tipos de rocas, no es posible realizarla en la fotografía aérea, ya que los criterios fotogeológicos utilizados para su reconocimiento, son diferentes a los utilizados en laboratorio e incluso en el campo.

Por esta razón, en fotogeología, la identificación de las rocas, se la realiza tratando de agruparlas de acuerdo a características comunes y generales, de manera que solo las principales clases de rocas o familias de rocas, pueden ser reconocidas en las fotografías aéreas.

La identificación petrológica, en las fotografías aéreas, será más precisa y confiable, si la exposición del afloramiento rocoso, es de gran extensión y la roca es muy uniforme en sus características.

La experiencia que se tenga en la identificación de rocas en trabajos de campo como en laboratorio y el conocimiento básico de los principios y conceptos de la geomorfología, favorecen mucho en el reconocimiento de ellas en las fotografías aéreas. Cuanto mayor experiencia de campo

tenga el fotogeólogo, mayor la seguridad en la designación de la roca que se identifique en la fotografía aérea; de manera que la delineación de los limites o contactos que se marque en las fotografías aéreas entre los diferentes tipos de rocas o unidades formacionales, no sufran cambios muy marcados cuando ellos sean comparados y revisados en el terreno.

Regiones de climas semiáridos, con afloramientos extensos y uniformes de diferentes tipos de litología, constituyen los mejores ejemplos para un buen aprendizaje en la identificación de los diferentes tipos de rocas en las fotografías aéreas. Por esta razón es que en el presente texto, la mayoría de los modelos estereoscópicos, corresponden a la región semiárida del territorio boliviano.

11.3 CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS DE LAS ROCAS SEDIMENTARIAS

La identificación individual de todos los posibles tipos de rocas sedimentarias, no es posible realizarla en las fotografías aéreas, debido a que las variaciones en la expresión morfológica y otras características que muestran, son muy similares, entre las rocas que tienen una composición mineralógica parecida, como en el caso de las areniscas y conglomerados.

A pesar de mostrar variaciones en su componentes accesorios, cemento, matrix y en ciertos casos textura, ellas no definen grandes diferencias en su expresión morfológica. Por ello, en la primer etapa de aprendizaje en fotogeología, es más conveniente referirse en la identificación de ellas, como areniscas para que en un posterior ánalisis, más detallado, bajo ciertas condiciones, puedan ser individualizadas en los diferentes tipos de areniscas, tales como areniscas cuarzosas, areniscas ferruginosas, arcosas, grauwacka, areniscas calcáreas, areniscas arcillosas, etc.

Por esta razón las rocas sedimentarias para su identificación en las fotografías aéreas, se las agrupan en tres grupos, con características bien definidas y diferenciables entre si.

Estos grupos son los siguientes:

1) Areniscas y conglomerados

2) Rocas arcillosas - Lutitas - Arcilitas - Limolitas

3) Rocas calcáreas - Calizas - Dolomitas

Esto significa que la identificación de las rocas sedimentarias en las fotografías aéreas y la designación de ellas, tienen un carácter más general en relación al nombre que le corresponde, si ella fuera descrita en base a criterios estrictamente petrográficos.

Las rocas sedimentarias, constituyen el grupo de rocas que pueden ser identificadas con mayor facilidad en comparación a las rocas ígneas y metamórficas.

A continuación se describen los criterios y características más importantes, que se pueden utilizar para el reconocimiento y diferenciación de las rocas sedimentarias de las rocas ígneas y metamórficas.

1) **Diseño de Tono** Este criterio es muy importante para el reconocimiento de rocas sedimentarias, que se hallen bien estratificadas e intercaladas en bancos delgados y gruesos, constituidos por diferentes tipos de roca, (Areniscas, lutitas, calizas, etc)

Si la alternancia de rocas, corresponde a una serie que tenga buzamientos mayores a los 10^{o}, en la fotografía áerea podrá ser rápidamente identificado por el **Diseño de Tono Bandeado** (Modelos estereoscópicos 28, 29, 30, 31, 32 y 33)

A continuación se presenta las diferentes alternativas, que ya se establecieron y presentaron en el capitulo VII, con relación a este diseño de tono.

a) Cuando el diseño de tono muestra un bandeamiento fino y una marcada alternancia de tonos diferentes de gris, incluyendo el blanco y el negro, (Modelos estereoscópicos 28, 29 y 30) sugiere lo siguiente:

- Presencia de una marcada alternancia de diferentes tipos de rocas sedimentarias.
- Valores altos del buzamiento de los estratos. (Mayores a 30^{o})
- El rumbo de los estratos, es paralelo al bandeamiento.

b) Si el bandeamiento es fino, pero muestra uniformidad en los tonos y a pesar de ello se puede distinguir el diseño bandeado, puede deberse a que el tipo de roca que predomina será el mismo, tanto en litología como en color y con buzamientos mayores a 30^{o}. (Modelos estereoscópicos 31, 32 y 33)

c) Si la alternancia de las rocas es heterogénea y los buzamientos de los estratos son menores a los 30^{o} y coinciden con la inclinación y dirección de las pendientes del relieve, (Dip slope o Pendiente estructural), los planos de estratificación, además de tomar formas triangulares por efecto de la erosión diferencial, tendrán mayor área de exposición en sus afloramientos, de manera que el ancho de las fajas o bandas de tonos registradas será mayor, por lo tanto el bandeamiento tonal no podrá ser apreciado con facilidad, como ocurre con los casos anteriores. (Modelos estereoscópicos 4, 20, 21, 25 y 35)

d) Si las diferentes rocas de la alternacia, tienen colores muy similares y se hallan cubiertas por vegetación natural con variaciones muy ligeras, los tonos fotográficos también serán homogéneos, el aspecto bandeado variará de acuerdo a los valores de buzamiento y su identificación se realizará con relativa facilidad, por que la vegetación se hallará alineada con la estratificación, remarcando de esa manera el diseño de tono bandeado. (Modelos estereoscópicos 23, 33, 34, 36, 37, 38 y 39)

e) Si la extensión de afloramiento de uno o dos tipos de de roca cubren una sola fotografía aérea, será muy difícil asimilar la disposición de los tonos registrados en esa foto con el diseño bandeado que se ejemplifica en los modelos estereoscópicos que se indican anteriormente. En este caso la determinación del rumbo y buzamiento puede ser identificada acudiendo a otros criterios, como orientación del drenaje, presencia de estratos más resistentes a la erosión que desarrollen dip slopes. (Modelos estereoscópicos 16, 17, 18 y 40)

El Diseño de tono oval, amigdoidal, arriñonado Sugiere estratificación horizontal, caracterizada por una alternancia marcada entre diferentes tipos de litología y de resistencia variable a la erosión.

Cuando dicha alternancia de rocas es muy marcada y además la estratificación es fina, este diseño de tono mostrará un bandeamiento fuerte, como consecuencia de la variedad de tonos de gris y blanco en que se registran los diferentes tipos de roca. En este caso la identificación del diseño en la fotografía aérea se la realiza sin dificultad. (Modelo estereoscópico 24)

Por el contrario, si las rocas de la alternancia son uniformes en el color y en sus características litológicas, la identificación del diseño de tono, es más difícil de realizarla, porque en este caso el registro de los tonos es uniforme y no muestra el marcado contraste tonal del caso anterior. (Modelos estereoscópicos 25, 26 y 27).

Es necesario hacer notar que este diseño, puede ser confundido con el que se produce en aquellas áreas donde existen cultivos, que se han realizado mediante el sistema de siembra en contornos o en terrazas, que consiste en disponer las hileras de siembra en forma transversal a la pendiente del terreno en forma de curvas de nivel o lineas de contorno. Sin embargo por la extensión local, regular y uniforme de estos cultivos, puede ser diferenciado del diseño producido por la alternancia de rocas con estratificación horizontal.

2) **Formas de relieve o geoformas** Este criterio permite asociar a los **paisajes de Cuesta, Hog Back y Mesa** con la presencia de rocas sedimentarias, donde el desarrollo de las serranias que integran el paisaje de Cuesta y Hog Backs, se desarrollan en rocas de mayor resistencia a la erosión. (Areniscas, calizas, conglomerados; con buzamientos menores de 30^{o} y mayores a 30^{o} respectivamente). Los valles se desarrollan en las rocas más blandas como arcilitas y lutitas.

3) Aunque los diseños de drenaje son más indicadores de la estructura que de litología, algunos diseños pueden sugerir la presencia de rocas sedimentarias, especialmente cuando se trata del **diseño de drenaje parrilla**.

11.3.1 **Características fotogeológicas correspondiente al grupo de las areniscas y conglomerados.-** Para facilitar la descripción de los criterios y características fotogeológicas tanto de las areniscas como de las demás rocas, se tratará de mantener en lo posible el mismo orden en la secuencia, de los criterios a describir.

Se empezará con la descripcíon y análisis de la expresión morfológica, textura fotográfica, tono fotográfico, diseños de drenaje, de tono, de vegetación, características estructurales: fallamiento, diaclasamiento, plegamiento y condiciones climáticas.

ARENISCAS

Expresión morfológica

1) Las areniscas son las rocas sedimentarias más resistentes a la erosión, por lo que adquieren una fuerte expresión morfológica, que permite su rápida identificación en las fotografías aéreas.

2) Los bancos de areniscas pueden ser seguidos y marcados con relativa facilidad sobre las fotografías aéreas, constituyendo excelentes estratos conspicuos y/o guías. (Modelos estereoscópicos 64, 85, 86 y 87)

3) La expresión morfológica de las areniscas varia de acuerdo a diferentes factores, entre los principales se hallan los siguientes:

   a) Características de la estratificación

   b) Posición del estrato

   c) Espesor del estrato

   d) Textura de los granos componentes

   e) Condiciones climáticas

   f) Composición mineralógica

   g) Tipo de cemento y matrix

- Cuando las areniscas se encuentran estratificadas en bancos gruesos, con buzamientos mayores a 10^{o} y se hallan alternando con bancos muy delgados de lutitas, arcilitas o margas, por efecto de la erosión diferencial, las areniscas desarrollan caras triangulares, que coinciden con el buzamiento de los estratos y la pendiente del terreno, formas que son denominadas **Dip Slopes y Flat Irons** de acuerdo al tamaño que tengan los indicados triángulos de erosión. (Foto 13.1 modelos estereoscópicos 84, 47, 37, 36, 32, 31, 88 y 25).

  En el capítulo correspondiente al análisis estructural, se explica como estos triángulos de erosión o Dip slopes, llamados también **Pendiente estructural** permiten determinar el rumbo y buzamiento de los estratos.

- Si las areniscas se hallan estratificadas en bancos muy delgados, con buzamientos muy altos, casi verticales, desarrollarán crestas en el relieve, que constituyen estratos conspicuos, fáciles de marcar en las fotografías aéreas. (Modelos estereoscópicos 83 y 87)

- Cuando la alternancia entre areniscas y lutitas, limolitas, es en igual proporciones, y estratificada en bancos delgados, el relieve adquiere una expresión más suave y uniforme, y solo es posible identificar rumbos y buzamientos en las areniscas (Modelos estereoscópicos 88, 89, 90 y 91)

4) Constituyen generalmente las serranias más elevadas de un área, con desarrollo de crestas agudas y escarpes casi verticales.

Textura fotográfica

5) En el caso de las areniscas, la textura de fotográfica, constituye un criterio muy importante para el reconocimiento de estas rocas en las fotografías aéreas.

   En general, la textura de tono que caracteriza a las áreniscas, es la textura áspera o rugosa, que es mejor observada cuando la extensión de afloramiento de la roca es mayor, y mejor si los buzamientos son bajos a horizontales. (Modelos estereoscópicos 12, 13, 14, 34, 36, 47, 64, 65, 66, 82, 83, 84 y 88).

6) La textura fotográfica es media o menos áspera en areniscas que no son puras, como el caso de las areniscas arcillosas, areniscas limolíticas.

7) Generalmente, las areniscas de grano grueso tienen textura más áspera que las de grano fino.

Tono fotográfico

8) El tono fotográfico como ya se discutió en el capítulo pertinente, es función de varios factores, entre los que se hallan las condiciones climáticas, grado de meteorización, reflexión de la roca, color de la roca. Ello significa que bajo ciertas condiciones el color de la roca, puede en gran manera influir en el tono fotográfico, de manera que las areniscas de colores blancos o claros, se registrarán en tonos claros a gris claros, mientras que las areniscas de colores rojos, gris oscuros, se registraran en tonos de gris a gris oscuros.

   Areniscas de grano fino se registran en tono más oscuros que areniscas de grano más grueso, siempre que el color de ambas areniscas sea el mismo.

   Bajo cierta condiciones climáticas, como las de los desiertos estas rocas se registran en tonos gris oscuros, aunque ellas tengan colores claros, debido a que las rocas se hallan cubiertas por una delgada pátina de color casi negro denominado **barniz de desierto**, provocado por concentraciones de hierro y manganeso.

Diseño de drenaje

9) Las areniscas pueden desarrollar diferentes tipos de diseños drenaje, dependiendo fundamentalmente del buzamiento, espesor, diaclasamiento y tipo de alternancia que muestran las areniscas.

   Entre los diseños de drenaje, que pueden desarrollarse bajo las condiciones que se señalan a continuación, se hallan los siguientes:

   a) Areniscas sin diaclasamiento, con estratificación horizontal, con gran extensión de afloramiento, desarrollarán generalmente un **diseño de drenaje dendrítico, de baja densidad.**

   b) Areniscas diaclasadas, con estratificación horizontal, de gran extensión de afloramiento presentará un **diseño de drenaje rectangular o angular**. (Modelo estereoscópico 13).

   c) En regiones donde las areniscas se hallan alternando con diferentes tipos de litología y se hallan plegadas, el diseño de drenaje regional que se desarrolla será el **diseño de drenaje parrilla.** (Modelos estereoscópicos 33 y 34)

   d) Cuando las areniscas, forman dip slopes bien desarrollados, sobre ellas, fluyen pequeños ríos, de densidad de drenaje baja a media, debido a la textura de la roca. Sin embargo cuando las areniscas son arcillosas, la densidad de drenaje es más alta y localmente adquiere la apariencia de un diseño dendrítico, integrado por ríos de longitudes muy pequeñas y limitada solo a los dip slopes. (Modelos estereoscópicos 36, 38)

Diseño de la vegetación

10) En regiones de climas templado húmedo, subtropicales y tropicales, las areniscas se hallan cubiertas por una vegetación muy densa. Si el relieve de esas regiones es montañoso y las areniscas se hallan plegadas, con diferentes valores de buzamientos, la vegetación mostrará en su distribución, un diseño que se acomoda al rumbo de la estratificación de las areniscas, acentuando además la forma triangular que adoptan los dip slopes, de manera que en las fotografías aéreas la vegetación muestra una marcada alineación, que coincide con el rumbo de los estratos y la forma de los dip slopes cuando ellos se hallan presentes. (Foto 11.1 y modelos estereoscópicos 34, 36, 37, 38 y 39).

Características estructurales

11) Las areniscas por su competencia, cuando son deformadas, generalmente son afectadas por fallas transversales, con desplazamientos horizontales variables. (Modelos estereoscópicos 12, 15, 19, 25, 31, 32, 40 y 47)

12) El diaclasamiento que se observa en las fotografías aéreas, es el que corresponde al sistema de diaclasas, que tiene una orientación más pronunciada en dos direcciones casi perpendiculares entre si. Ello no significa, que las areniscas tengan unicamente sistemas de diaclasas con solo dos direcciones. Por el contrario, es posible identificar en el terreno, sistemas de diaclasas con más de dos direcciones, pero por razones relacionadas con la mayor acentuación en dos direcciones, probablemente debido a sus mayores longitudes, y ensachamiento por acción del agua y el viento, es que ellas tienen mejor registro en las fotografías aéreas, y por lo tanto son más fáciles en su identificación. (Modelos estereoscópicos 13, 14, 65 y 66).

    Por estas consideraciones, los fotogeólogos, utilizan como criterio, el diaclasamiento en dos direcciones para identificar areniscas.

13) Cuando las areniscas presentan buzamientos muy bajos hasta horizontales, el diaclasamiento es mejor observado en la fotografía aérea, debido a la mayor extensión de afloramiento de los planos de diaclasamiento. (Modelos estereoscópicos 65 y 66).

14) Generalmente, el espaciamiento de las diaclasas es mas denso en areniscas de grano fino que en las de grano grueso.

Condiciones climáticas

15) El clima es un factor importante, que influye en la expresión morfológica, que pueden adoptar las rocas.

    En climas áridos y semiáridos, las areniscas son más resistentes a la erosión y meteorización, razón por la cual ocupan las partes más elevadas del relieve, de formas más angulares, con desarrollo de escarpes abruptos, que sobresalen en el relieve. (Modelos estereoscópicos 40 y 47)

    Por el contrario el relieve de las areniscas en las regiones templado húmedas, subtropicales y tropicales, tiene una expresión morfológica más suave, de formas más redondeadas, aunque mantiene una expresión más fuerte en el relieve, que otras rocas sedimentarias (Modelos estereoscópicos 36, 37 y 38)

CONGLOMERADOS

Este tipo de roca, debido a la gran variedad en sus características texturales, composición, cohesión o consistencia, adopta diferentes características en su expresión morfológica y drenaje, razón por la cual su identificación en las fotografías áereas, no es sencilla, y puede ser confundida con otras rocas, en especial areniscas, o rocas de textura media.

Como las **brechas** presentan características que son muy similares a la de los conglomerados, con excepción de la forma de los clastos que la componen, se considera que los criterios fotogeológicos utilizados para la identificación de conglomerados pueden también ser utilizados para identificar estas rocas. Por esta razón se incluye a las brechas en este grupo.

Expresión morfológica

1) La expresión morfológica, es función del porcentaje del tipo de clastos y textura de los clastos, que predominan en el conglomerado, asi como del matrix y cemento. A continuación se describen cuatro situaciones en que la expresión morfológica, puede presentar diferencias, de acuerdo a las variaciones en las características del conglomerado.

   a) Conglomerados, constituidos por clastos muy grandes de areniscas, granitos, cuarcitas, con cemento siliceo, que se hallen bien cementados, bien estratificados y plegados, desarrollarán un relieve muy parecido al de las areniscas, cuyas serranias tienen las mismas características morfológicas.

      En esas condiciones, su identificación en las fotografías aéreas no es sencilla, ya que puede ser confundida con areniscas. (Modelos estereoscópicos 46, 41, 32, 93, 94 y 95)

   b) Si los conglomerados se hallan constituidos por clastos más pequeños y homogéneos, con gran porcentaje de material arcilloso, matrix areno-arcilloso, de espesores regulares y compactados, bien estratificados y plegados, desarrollarán una expresión morfológica menos fuerte que la anterior, aúnque sigue constituyendo un relieve alto, asociados a un diseño de drenaje dendrítico. El perfil de los valles, muestra paredes verticales con pisos planos. Las crestas de estas serranias, pueden desarrollar pequeños escarpes, en el que se puede apreciar que la textura fotográfica es más áspera que media. (Modelos estereoscópicos 4, 20 y 35).

   c) Si los conglomerados se hallan constituidos por clastos más pequeños y homogéneos, con gran porcentaje de material arcilloso, matrix areno-arcilloso, de espesores regulares y **poco consolidados**, desarrollarán una expresión morfológica más suave caracterizado por colinas redondeadas, de poca elevación, asociadas a un diseño de drenaje dendritico, de densidad media. La textura fotográfica es áspera a media, de menor intensidas que en el caso anterior. El perfil transversal de los pequeños valles, quebradas o cárcavas, muestran paredes casi verticales con pisos planos. (Modelos estereoscópicos 96, 97, 100, 68, 55, 39 y 48). En estas condiciones, la expresión morfológica es muy parecida a las lutitas y arcilitas. La estratificación en la foto aérea no es posible observar.

   d) Cuando los conglomerados son poco consolidados, de espesores delgados, con estratificación horizontal, discordantes con la roca infrayacente y generalmente de edad

reciente, desarrollan un relieve casi horizontal u ondulado, en el que la superficie muestra una textura fotográfica muy suave que contrasta con la textura áspera que se observa en aquellos sectores donde por acción de la erosión, forma escarpes o crestas delgadas como cuchillas. El drenaje generalmente es de muy baja densidad, o no existe. (Modelos estereoscópicos 5, 55, 72, 74)

e) En regiones de climas templado humedos a subtropicales, cuando los conglomerados se hallan intercalados, con bancos de areniscas, conglomerádicas, arcilitas, la identificación de los conglomerados, no es sencilla, ya que la expresión morfológica es uniforme, con muy poca acentuación en la erosión diferencial. Un ejemplo de este modelo de erosión y paisaje y litología, se observa en las rocas de edad Terciaria del Grupo Chaco de la region del Sub Andino de Bolivia. (Modelos estereoscópicos 39 y 33)

Textura fotográfica

2) A pesar de las diferencias que puedan existir entre los diferentes tipos de conglomerados y la expresión morfológica que adoptan; la textura fotográfica siempre mostrará una apariencia áspera a media, especialmente cuando la roca está muy erosionada. (Modelos estereoscópicos 4, 5, 20, 32, 35, 39, 41, 46, 48, 55, 68, 72, 74, 93, 94, 95, 96, 97, 98 y 99)

Tono fotográfico

3) Los conglomerados se registran en diferentes tonos fotográficos, dependiendo de los mismos factores mencionados para el caso de las areniscas. Sin embargo, generalizando se podría establecer que conglomerados de colores claros y poco consolidados se registrarán en tonos claros a gris claros. (Modelos estereoscópicos 68, 72, 74, 96, 98, 99, 100). Conglomerados de colores rojos, consolidados se registran en tonos gris oscuros a grises. (Modelos estereoscópicos 93, y 94)

Diseño de drenaje

4) El diseño de drenaje, que se desarrolla en los conglomerados varía de acuerdo a las características texturales y de composición de estas rocas.

Generalizando, se podría esperar un diseño de drenaje dendrítico, si los conglomerados se hallan constituidos por clastos más pequeños y homogéneos, con gran porcentaje de material arcilloso, matrix areno-arcilloso, de espesores regulares y consolidados. (Modelos estereoscópicos 96, 99, 100)

Si se trata de conglomerados horizontales, fallados y diaclasados,puede desarrollar un diseño de drenaje rectangular.

Características estructurales

5) Debido a la baja plasticidad, competencia de los conglomerados, se hallan frecuentemente afectados por fallas transversales y/o diaclasamiento. (Modelo estereoscópico 35)

Condiciones climáticas

6) El clima, también influye en la expresión morfológica de los conglomerados, generalmente

en climas templado húmedos, tropicales, subtropicales, la expresión morfológica es más suave y más redondeada que en los climas semiáridos y áridos.

11.3.2 **Características fotogeológicas del grupo de las rocas arcillosas.- Lutitas - Arcilitas - Limolitas - Loess y margas** Antes de presentar las características fotogeológicas de este grupo de rocas arcillosas, es necesario realizar algunas consideraciones sobre el sentido en que serán utilizados los nombres para designar a las diferentes rocas que integran este grupo, de manera que no exista confusión con el uso de otros términos.

LUTITAS Este término es el equivalente al de SHALE, utilizado por geólogos americanos e ingleses y al de PIZARRA utilizada en la literatura francesa. En algunos textos de Petrografia, traducidos del ingles, utilizan el término PIZARRA como el equivalente de SHALE. En el texto se utilizará el término LUTITA para referirse al de SHALE, dejando el término PIZARRA para referirse a una roca metamórfica.

Por lo tanto, la LUTITA es una roca arcillosa, de textura fina, caracterizada por su alta fisilidad, con mayor grado de consolidación que las arcilitas. La composición mineralógica promedio de una lutita, tiene un tercio de cuarzo, un tercio de minerales arcillosos y un tercio de otros minerales (carbonatos, óxidos de hierro, etc). Texturalmente las lutitas se hallan constituidas por un mayor porcentaje de limo que arcillas.

ARCILITAS Es una arcilla endurecida, pero en menor grado que las lutitas. No muestran fisilidad o laminación, pero es una roca maciza, en la que la arcilla predomina en relación a su contenido en limo, a diferencia de las lutitas (Se hace notar, que aunque este término, que es el correcto para denominar a esta roca, los geólogos generalmente prefieren utilizar el término **Arcilla** (senso lato).

LIMOLITA es una roca en el que por lo menos dos tercios de los minerales que la componen son del tamaño del limo. Son más ricos en sílice y más pobres en alúmina que las lutitas, presentan un alto contenido de micas o minerales arcillosos. Se hallan en parte cementadas y en parte simplemente ligadas por recristalización de los materiales arcillosos componentes. Generalmente se hallan interestratificadas con lutitas y bancos muy delgados de areniscas, por lo que generalmente nunca constituyen estratos de grandes espesores.

Por sus características texturales y de composición, son de caracter intermedio entre las areniscas y lutitas. El término equivalente en ingles es el de **SILSTONE**.

El diámetro del limo, principal constituyente de esta roca roca es de 0.06 mm.

LOESS Se halla constituido por limo no consolidado, generalmente de color marrón amarillento a amarillo, sin estratificación, tiene la propiedad de mantenerse en posición vertical. Se caracteriza por su contenido calcáreo.

MARGAS Son rocas constituidas por arcillas y carbonato, cuyo porcentaje de carbonatos de calcio, predomina sobre el de la arcilla.

Los cuatro tipos de rocas arcillosas descritos, pueden ser diferenciados e identificados en las fotografías aéreas. A continuación se describen las características fotogeológicas, de las indicadas rocas.

LUTITAS

Expresión morfológica

1) Debido a su poca resistencia a la erosión, las lutitas desarrollan un relieve muy suave, ondulado, que en relación a las rocas más duras, ocupan las partes más bajas del relieve. (Valles, laderas inferiores de las serranias). (Modelos estereoscópicos 16, 17, 18, 40, 42, 63, 64, 73, 86 y 94)

   Cuando las lutitas tienen grandes espesores, y no se hallan cubiertas por otros depósitos, y además se hallan desprovistas de una cubierta vegetal, como en regiones semiáridas o áridas, son rápidamente atacadas por la acción de las aguas de escorrentia, cuyo efecto erosívo desarrolla un drenaje muy denso, con el desarrollo de un numeroso sistema de pequeños valles. (carcávas, quebradas, etc.) que conforme va acelerandose el efecto erosivo de este sistema de drenaje, puede crear un paisaje del tipo **Bad lands** que es más característico en arcilitas interestratificada con niveles de una roca más dura.

Textura fotográfica

2) La textura de tono fotográfico de las lutitas es suave. (Modelos estereoscópicos 16, 17, 18, 40, 42, 63, 64, 73, 86, 94)

Tono fotográfico

3) Al igual que en las areniscas, el tono fotográfico de las lutitas varia de acuerdo a varios factores. Sin embargo el color de la roca, puede en cierto modo definir el tono fotográfico en el que deben registrarse. Lutitas negras, gris obscuras, se registrarán en tonos gris oscuros. La mayoria de las lutitas se registran en tonos gris a gris oscuros.

Diseño de drenaje

4) Las lutitas debido a su textura, son impermeables, razón por la cual, desarrollan un diseño de drenaje dendrítico que se caracteriza por su densidad alta a media, alta integración, ausencia de angularidad y ángulos de junta menores a los 90^{o}. Los ríos que integran a este diseño, se caracterizan por que los tributarios principales, se hallan bien definidos y pueden ser trazados sobre la foto con relativa facilidad. El perfil transversal de los valles tienen la forma de **V**.

   Cuando las lutitas, se hallan intercaladas con limolita, areniscas, la densidad de drenaje disminuye.

Características estructurales

5) El rumbo y buzamiento, que se observa en el terreno, no es posible identificar en las fotografías aéreas especialmente, si no existe algún horizonte de roca más dura, interestratificado con las lutitas. (Modelos estereoscópicos 16, 17, 18). De manera similar ocurre con la identificación de fallas o diaclasas, que tampoco pueden ser identificadas con facilidad, a menos que ellas hayan controlado el drenaje del área, dando lugar al desarrollo de anomalias de drenaje, como alineación de segmentos de ríos, alineación de un solo río, descritos en el Capitulo 7, (Modelos estereoscópicos 26, 49).

6) Cuando entre las lutitas, se halla un nivel de ún banco delgado de limolita o arenisca, es posible inferir el rumbo y buzamiento, con referencia a dicho banco.

7) Por tratarse de rocas suaves y poco resistentes a la erosión, no desarrollan dip slopes (Pendientes estructurales) ni flat irons.

8) Debido a la plasticidad de estas rocas, cuando son deformadas, se repliegan fácilmente, desarrollando numerosos pliegues menores, que presentan dificultades en su identificación en las fotografías aéreas, si no se halla interestratificada con niveles arenosos o limolíticos.

Condiciones climáticas

9) Aunque la expresión morfológica en general es suave, ondulada, ocupando las partes más bajas del relieve, el clima establece ciertas diferencias en el relieve de las lutitas. Por ejemplo, en climas húmedos y templados, las formas que desarrollan las lutitas son más redondeadas, de menor relieve, que las desarrolladas en climas áridos y semiáridos, en las que las formas son más angulosas.

10) Las lutitas pueden presentar un relieve más alto que el de las calizas, cuando ellas se hallan en regiones, de climas templado húmedos o tropicales, donde la acción de la meteorización quimica es tan fuerte, que las calizas son rápidamente atacadas por efectos de disolución, desarrollando un típico paisaje Karstico, en el que las calizas ocupan las partes más bajas del relieve, mientras que bajo esas condiciones las lutitas adquieren mayor expresión morfológica.

ARCILITAS (Arcillas)

Expresión morfológica

1) Las arcilitas, por su menor consistencia, que el de las lutitas, presentan una expresión morfológica más suave y baja y ocupan por lo general, los pisos y las laderas inferiores de aquellos valles amplios, que fueron ensanchados precisamente por la poca resistencia que ofrecen estas rocas a la erosión fluvial. (Modelos estereoscópicos 5, 21, 29, 41, 42, 56, 62, 87, 89, 102 y 103)

2) Si las arcilitas se hallan alternando con paquetes muy gruesos de rocas más resistentes a la erosión, que se hallan plegadas, con diferentes valores de buzamientos, las arcilitas forman valles angostos, mientras que las rocas más resistentes, constituyen las crestas de las serranias, de manera que el paisaje se caracteriza por una alternancia de valles y serranias. (Modelos estereoscópicos 4, 32, 35, 46, 87 y 103)

3) Cuando las arcilitas tienen algunas intercalaciones de niveles arenosos, conglomerádicos, o lentes de arenas y conglomerados, el relieve es parecido al anterior, aunque puede desarrollar con mayor facilidad un paisaje típico de BAD LANDS o TIERRAS MALAS (Modelos estereoscópicos 5 y 55)

Textura fotográfica

4) La textura de tono fotográfico de las arcilitas es suave. (Modelos estereoscópicos 29, 32, 41, 55, 56, 62, 87, 89 y 102)

Tono fotográfico

5) Al igual que en las lutitas, el tono fotográfico de las arcilitas varia de acuerdo a varios factores. Sin embargo el color de la roca, puede en cierto modo definir el tono fotográfico en el que deben registrarse. Arcilitas de color rojo, se registran en tonos gris a gris oscuros. Arcilitas de colores claros se registran en tonos gris claros.

Diseño de drenaje

6) Por su textura muy fina, estas rocas son muy impermeables, desarrollan un diseño de drenaje dendrítico de alta densidad. Los ríos que integran este diseño de drenaje, poseen ciertas características que pueden ser utilizados como un criterio para diferenciarlas de los ríos que se desarrollan en lutitas. Ellas son las siguientes:

   a) La longitud de los ríos tributarios de primer orden y de segundo orden que se desarrollan en las arcilitas, son de longitudes mucho más pequeñas que las desarrolladas en lutitas. (Modelos estereoscópicos 5, 6, 17, 18, 56, 62 y 41)

   b) El espaciamiento que existe entre los ríos que se desarrollan en las arcilitas, es extremadamente más alto que en las lutitas. (Modelos estereoscópicos 5, 41, 55, 56 y 62)

   c) Por las dos condiciones anteriores, los ríos mencionados en las arcilitas, no pueden ser trazados en su totalidad sobre la fotografía áerea. Lo contrario ocurre con el drenaje en las lutitas.

   d) Los perfiles transversales de los valles en las arcilitas tienen la forma de **U** con paredes verticales y pisos planos, a diferencia de los desarrollados en las lutitas que tienen la forma de V.

Características estructurales

7) De igual manera que en las lutitas; el rumbo y buzamiento de estratos, fracturas, diaclasas y fallas no es posible identificar en las fotografías aéreas, especialmente, si no existe algún horizonte de roca más dura, interestratificado con las arcilitas.

Condiciones climáticas

8) Aunque la expresión morfológica en general es suave y ondulada en cualquier condición climática; en climas áridos y semiáridos, por la ausencia de vegetación, intensas lluvias periodicas, la disección es más intensa y facilita el desarrollo típico del paisaje de **"Tierras Malas" (Bad Lands)** caracterizado por la formación de pequeñas serranías o colinas muy disectadas, con crestas en forma de cuchillas, asociadas a formas menores que en conjunto se las denomina a veces **Rocas Monigotes** intetegradas por formas como: Rocas columnares, rocas duende, rocas hongo, rocas sombrero de dama, etc.

   Muchas de estas formas se desarrollan, cuando entre las arcillas se encuentran algunos niveles o lentes de una roca más dura y resistente a la erosión. (Modelos estereoscópicos 5 y 55)

LIMOLITAS

Generalmente se hallan interestratificadas con lutitas y bancos muy delgados de areniscas. Es menos común encontrar afloramientos de solo limolitas, por ello las características fotogeológicas utilizadas para su identificación, no son muy definidas.

Se podría considerar la existencia de estas rocas, si la expresión morfológica que muestran es relativamente un poco más marcada que las presentadas por lutitas o arcilitas, cuando ellas se hallan interestratificadas con otras rocas, y en la que es posible identificar rumbos y buzamientos. (Modelos estereoscópicos 8, 46, 49, 70, 71, 91 y 92)

LOESS

Expresión morfológica

1) Cuando estos depósitos son muy recientes y cubren áreas de relativa extensión, en forma de mantos, no desarrollan una expresión morfológica característica y solo ayuda a uniformar el relieve, suavizandolo y confiriendole al relieve un aspecto redondeado.

2) En regiones semiáridas, con ausencia de cubierta vegetal, la acción de las lluvias y drenaje superficial, dá lugar a una intensa erosión, que también desarrolla un paisaje de Tierras Malas o Bad Lands, cuando estos depósitos, alcanzan espesores muy grandes. Sin embargo, habría que remarcar que bajo las anteriores condiciones, el relieve original corresponde al de **llanuras de loess**, con características muy limitadas para su identificación en las fotografías aéreas.

   Cuando este tipo de paisaje evoluciona a través del tiempo, por la acción erosiva de los procesos geomórficos, se modifica con la consecuente destrucción del relieve original, desarrollando una topografía caracterizada, por el desarrollo de pequeñas serranias y colinas, que muestran cierto paralelismo, que reflejan las direcciones de los vientos dominantes. Estas serranias además muestran crestas estrechas con laderas simétricas y uniformes, que puede ser utilizado como un criterio para diferenciarlas de las serranias desarrolladas en lutitas y arcilitas.

   Conforme avanza el efecto erosivo, el relieve va modificandose, hasta destruir dicho relieve, desarrollando una topografía altamente disectada, en el cual solo se puede identificar pequeños remanentes del relieve anterior, situación en la cual este relieve puede ser confundido por el relieve producido en arcilitas y lutitas.

Textura fotográfica

3) La textura de tono fotográfico, es suave al igual que el resto de las rocas arcillosas.

Tono fotográfico

4) Este tipo de depósitos, se registran en tonos gris claros a grises.

Diseño de drenaje

5) Bajo las condiciones señaladas anteriormente, dos son los diseños que pueden desarrollarse sobre este tipo de depósitos:

a) Cuando el paisaje corresponde al de llanuras de loess y al relieve altamente disectado, el diseño de drenaje que se desarrolla será **Dendrítico**, con variaciones en la densidad de drenaje. Será de alta densidad en el caso del relieve altamente disectado.

b) Cuando el paisaje corresponde al de serranias paralelas con laderas uniformes y simétricas, desarrollará el diseño de drenaje dendrítico variedad **Pectineo o de Peine**

Condiciones climáticas

6) En climas húmedos, las formas son más suaves y redondeadas. Bajo esta condición climática, estos depósitos, son utilizados en agricultura.

Lo contrario ocurre en climas áridos y semiáridos, que debido a los efectos intensos de erosíón, las condiciones y características del relieve resultante, impiden su uso en agricultura.

MARGAS

Expresión morfológica

1) Estas rocas, por la textura del grano, presentan características fotogeológicas muy similares a las de las arcilitas, aunque sin llegar a desarrollar el paisaje de Tierras Malas o Bad Lands.

Textura fotográfica

3) Al igual que el resto de las rocas arcillosas. La textura de tono fotográfico, es suave.

Tono fotográfico

4) Debido al contenido de CO_3 Ca, los colores de las margas son de colores claros, por lo que el registro en las fotografías aéreas se realiza en tonos muy claros.

Diseño de drenaje

5) Por las mismas características texturales de esta roca, el diseño de drenaje, es **Dendrítico** de densidad media, con valles poco profundos.

Características estructurales

6) Por su plasticidad, en estas rocas tampoco es muy frecuente la presencia de fallas y fracturas, por el contrario cuando son deformadas, ellas desarrollan pliegues menores muy comprimidos.

11.3.3 Características Fotogeológicas del Grupo de las rocas calcáreas .-

CALIZAS Y DOLOMITAS

En este grupo se incluyen los diferentes tipos de caliza, entre las que se puede mencionar a las de origen orgánico o biohermales, las clasticas, las precipitadas quimicamente y las dolomitas, además se incluyen las calizas que tienen composición intermedia como las calizas arenosas, calizas

arcillosas, que por lo general se hallan interestratificadas con bancos de calizas puras y dolomitas, constituyendo en conjunto paquetes calcáreos muy gruesos, como los que se presentan en los modelos estereoscópicos 20, 21, 24 y 30.

En la descripción de las características fotogeológicas de este grupo, se utilizará el término Calizas en un sentido genérico y no específico, con referencia a un determinado tipo de caliza, ya que la fotografía aérea, puede brindar una información general, para que por estudios posteriores de campo y petrográficos se pueda determinar con precisión al tipo de caliza, que corresponde. Para los fines de un estudio fotogeológico, que corresponde a la primera etapa, en cualquier estudio geológico, será suficiente poder delinear áreas con afloramientos de este grupo de rocas y con la descripción de alguna característica que pueda identificarse en las fotografías aéreas.

Las calizas constituyen el grupo de rocas, con características muy particulares, que dependen fundamentalmente de dos condiciones climáticas diferentes, las cuales definen el desarrollo de dos expresiones morfológicas, utilizadas como el criterio más importante para la identificación y diferenciación de estas rocas en las fotografías aéreas.

Por esta razón, la descripción de la características fotogeológicas de las calizas, será realizada en función de la condición climática y la expresión morfológica que le corresponde.

A) Climas Templado húmedo, subtropical y tropical

Expresión morfológica

1) Bajo estas condiciones climáticas, las calizas son intensamente atacadas por los procesos de meteorización quimica, especialmente el de solución, que produce la disolución de las calizas, dando lugar al desarrollo de un paisaje muy típico, denominado **Kárstico**, caracterizado por un conjunto de geoformas, que solo se desarrollan bajo las condiciones señaladas.

   Sin embargo, es necesario establecer que además existen otras condiciones relacionadas con la estructura y estratificación de estas rocas, para que se desarrolle este tipo de paisaje. Solamente se nombrarán, aquellas geoformas que pueden ser identificadas en las fotografías aéreas y ellas son:

   - Las calizas deben ser densas, muy diaclasadas y fracturadas, que permitan que el agua pueda infiltrarse con facilidad.

   - Las calizas deben estar estratificadas en bancos delgados sin que en dicha secuencia, se hallen interestratificados bancos de lutitas, margas, arcillas, que por ser impermeables impiden el desarrollo de este tipo de paisaje.

   - La solubilidad de las calizas depende de su composición química y textura. Las calizas puras son las menos resistentes a la disolución, mientras que las calizas dolomiticas, dolomitas son más duras y resistentes a la disolución.

   - La estratificación horizontal de las calizas, permitirá mayor cantidad de infiltración del agua en comparación a aquellas áreas con buzamientos altos.

   - Los niveles de agua subterránea, deben hallarse por encima del relieve en el que se encuentran las calizas, de manera, que el agua pueda descender a través de las calizas.

Por lo tanto la presencia de valles principales encajonados, que tengan un subyacente de rocas calcáreas, es necesario.

- Las precipitaciones pluviales deben ser de moderadas a abundantes.
- Este proceso es más intenso en climas tropicales debido a las temperaturas más altas y más o menos constantes, al mayor porcentaje de humedad y al gran contenido de ácido carbónico, anhidrido carbónico y materia orgánica.

2) Las geoformas que se desarrollan por los procesos de Kárstificación, son muchas y se presentan en forma secuencial a medida que ellas evolucionan, con características distintivas en sus diferentes estados de evolución. Solo se nombrarán aquellas que pueden ser identificadas en las fotografías aéreas y ellas son:

Dolinas también llamadas Sumideros o Torcas son depresiones de forma circular, ovalada de diferentes dimensiones, con diámetros que generalmente varian entre 1 m. y varias decenas de metros con profundidades que varian desde 1 m. a más de 150 m. El desarrollo de las dolinas, es más común en **calizas con estratificación horizontal**. Con buzamientos de valores medios, son menos frecuentes, y sus formas son elongadas, con su eje mayor paralelo a la estratificación.

Algunos autores utilizan el término **Depresion de desplome** pára referirse a aquellas depresiones, que son el resultado del desplome de rocas situadas por debajo de una depresión subterránea, de manera que el término **Dolina** correspondería solo para aquellas depresiones que son resultado de la disolución de las calizas que ocurren en superficie, mediante un proceso muy lento, aunque ambas, por diferentes procesos, son de todas maneras el resultado de la acción de la disolución.

El desarrollo de las dolinas, es más favorecido, cuando la caliza se halla diaclasada o fracturada, ya que en la intersección de dichas zonas de debilidad, la acción de la disolución por las aguas superficiales que se infiltran será más efectiva.

Como se mencionó anteriormente, las dolinas tienen diferentes tamaños y su densidad es proporcional a la solubilidad y edad de las calizas; ello puede ser utilizado como un criterio, para establecer en la fotografía aérea, limites entre tipos diferentes de calizas, especialmente cuando la extensión de afloramiento de ellas es muy grande y de espesores mayores a los 10 metros. (Figura 11.1)

En aquellas regiones, donde las calizas se hallan cubiertas por una gruesa cubierta de depósitos recientes, (1 a 40 m.), sean de origen aluvial o glacial, es posible que las calizas desarrollen dolinas, a pesar de dicha cubierta, proceso que es conocido con el nombre de **"Cripto Karst".**

Cuando las dolinas se rellenan con arcillas, pueden formarse pequeñas lagunillas, que se denominan **lagos karsticos**, de manera que el paisaje resultante es una superficie plana, llena de lagos, que le da una apariencia muy especial. Este tipo de paisaje puede ser confundido con otro muy parecido, que se desarrolla sobre superficies planas (terrazas lacustres), constituidas por arcillas muy finas de origen lacustre, que posiblemente, tenga en niveles subyacentes, lentes de material de textura más gruesa y heterogenea poco consolidados, o niveles de arcillas yesiferas y/o yesos, que por efecto de la existencia de niveles freáticos, en un caso se destruye la poca cohesión de estos materiales o se producen

efectos de disolución en los niveles yesiferos, que colapsan, desarrollando en la superficie de las arcillas, depresiones de muy poca profundidad, que rellenada nuevamente, puede acumular agua formando pequeños laguitos, de apariencia muy similar a los lagos Kársticos. Este tipo de paisaje podría ser considerado como relieve **Pseudo Karstico.** (Modelos estereoscópicos 22, 31, 43 y 62).

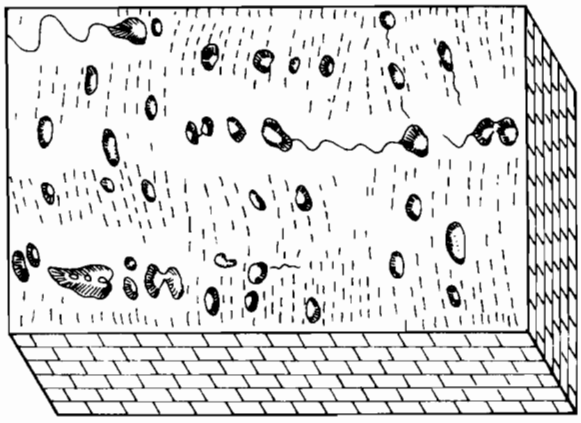


FIGURA 11.1 Desarrollo de Dolinas en Paisaje Kárstico (Modificado de Sparks 1960)

Uvalas La unión de dos o más dolinas, da lugar al desarrollo de depresiones más alargadas y profundas, con pisos planos, que se las ha designado con el nombre de Uvala. (Fig. 11.2)

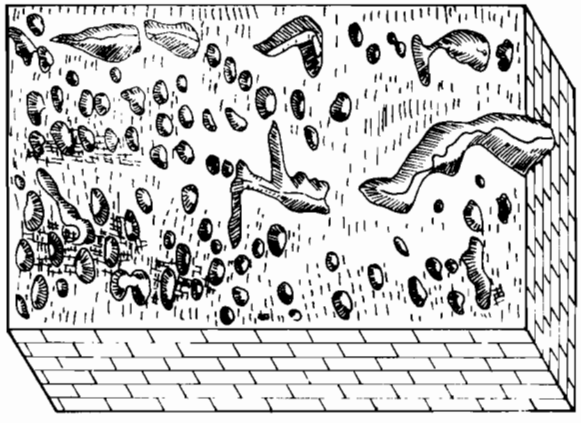


FIGURA 11.2 Desarrollo de Uvalas y Poljes en paisaje Kárstico (Modificado de Sparks 1960)

Poljes Este término, generalmente es utilizado para referirse a aquellas depresiones de enormes dimensiones, que forman valles, caracterizados por pisos anchos de relieve muy plano, que constituyen verdaderas llanuras, limitadas por paredes empinadas.

El tamaño de estas geoformas varia en su ancho desde unos cientos de metros a varios kilómetros y longitudes de algunos kilómetros a decenas de kilómetros. (Figura 11.2)

3) En regiones de climas tropicales, el proceso de Karstificación, se caracteriza por su mayor intensidad, debido a las temperaturas más altas y más o menos constantes, altos porcentajes de humedad y mayor cantidad disponible de acido carbónico y bióxido de carbono, que aceleran la disolución de las calizas.

   Las geoformas con muy pequeñas diferencias, son similares a las descritas anteriormente. Por la mayor intensidad con que actúa este proceso, es más frecuente observar que en las etapas finales de la evolución de este paisaje, quedan remanentes de calizas, que adquieren formas de pequeños montículos o cerros, que se denominan **Cerros Pepinos** en Puerto Rico; **Mogotes** en Cuba, cuyas dimensiones varian entre 9 m. a 300 m. Cuando alcanzan dimensiones mayores, (300, 350 m. de altura) se desarrollan cavernas, depresiones menores, etc.

   Los Mogotes y Cerros Pepino podrian ser los equivalentes a los **Hum** de las regiones de climas templado húmedos, que generalmente se encuentran en los pisos de los Poljes.

Textura fotográfica

4) Las calizas, en las condiciones señaladas anteriormente, muestran una textura fotográfica que puede variar desde una textura media cuando no desarrolla gran cantidad de dolinas, a una textura semejante a la moteada, cuando desarrolla cantidad de dolinas y lagos Kársticos.

Tono fotográfico

5) Por lo general, los tonos fotográficos en los que se registran las calizas, son tonos de gris a gris claros. Cuando existen dolinas y se hallan rellenadas por arcillas, o con vegetación, los tonos de gris en esos puntos son más oscuros, que el área que los circunda.

Diseño drenaje

6) En áreas de dolinas, el drenaje es de tipo interno, caracterizado por pequeñas corrientes que se unen con las dolinas o desaparecen a lo largo de fracturas o diaclasas. (Figura 11.3)



FIGURA 11.3 Diseño de drenaje en áreas de relieve Karstico

B) **Climas semiáridos y Aridos**

Expresión morfológica

1) En climas áridos y semiáridos, la acción de la meteorización química, es mínima, por ello los efectos de disolución en las calizas no son notorios.

   Bajo estas condiciones climáticas, las calizas se vuelven rocas muy resistentes a la erosión y meteorización y su comportamiento es muy similar al de las areniscas. Por ello, las calizas ocupan las partes más altas del relieve, constituyen las crestas de serranias, con escarpes en ciertos casos muy abruptos que en la fotografía aérea puede ser confundido con el grupo de las areniscas y conglomerados. (Modelos estereoscópicos 4, 6, 25 y 32)

2) Sin embargo por los colores claros que en general presentan las calizas, por las formas de erosión que muestran los planos de estratificación, por los pliegues que desarrolla, y por los espesores que tienen los diferentes bancos de calizas, cuando se hallan inter-estratificados en grandes espesores, define un paisaje muy característico y tal vez es el que mejor impresiona a la vista del fotogeólogo, que puede apreciar claramente grandes diferencias con otros paisajes asociados a otros tipos de rocas (Modelos estereoscópicos 21, 20, 24, 29 y 103).

3) El desarrollo de dolinas no es muy frecuente.

4) Cuando los bancos de calizas no tienen espesores muy grandes y se hallan buzando con valores mayores a los 25°, forman serranias de poca elevación con crestas agudas, donde el escarpe de erosión, muestra en sus bordes superiores la apariencia helgada como las separaciones de una dentadura, provocada por la acción de disolución, que puede ser un criterio para diferenciarlas, de los escarpes que se desarrollan en areniscas.(modelos estereoscópicos 87, 89, 102, 103)

Textura fotográfica

5) Por lo general, presenta una textura fotográfica media a suave, pero puede ocurrir que por efecto de la erosíón el aspecto que adquiere la textura sea algo áspera, aunque no como en las las areniscas.

Tono fotográfico

6) La gran variedad de colores que tienen las calizas, en el que predominan los colores claros, define que los tonos fotográficos que predominan sean tonos claros a gris claros, que puede alternar con tonos grises a gris oscuros. Cuando los espesores son muy grandes y se hallan estratificadas en bancos delgados y de colores diferentes, muestran el tipico diseño bandeado característico de las rocas sedimentarias, pero con un bandeamiento fino y muy marcado. (Modelos estereoscópicos 21, 24, 28, 29, 30 89 y 103)

Diseño drenaje

7) En áreas plegadas, con una marcada alternancia de otras rocas, el drenaje que se desarrolla en las calizas, forma parte del diseño de drenaje parrilla o trellis. (Modelos estereoscópicos 4, 20 y 35)

8) Cuando los espesores son grandes y los buzamientos bajos a horizontales, los valles son profundos, angostos, de pisos planos y paredes casi verticales. (Modelo estereoscópico 24)

9) Cuando se trata de una alternancia de calizas densas, calizas arcillosas, la densidad de drenaje es más alta en las calizas arcillosas. Puede ser utilizado como un criterio para diferenciar este tipo de calizas de los otros tipos. (Modelos estereoscópicos 20,29,46,50)

Características estructurales

10) Las calizas por su mayor plasticidad que las areniscas, bajo las mismas condiciones de deformación; desarrollan pliegues que se caracterizan por un marcado y buen desarrollo, a los que acompañan en la mayoría de los casos, repliegues bien definidos que le dan un aspecto muy diferente al que desarrollan areniscas o lutitas cuando se repliegan. Este criterio a veces es muy útil, para diferenciarla de las areniscas, que por lo general se hallan más fracturadas. (Modelos estereoscópicos 29, 50, 56, 87 89 y 90)

11) La identificación de rumbos y buzamientos en las calizas, es más fácil y rápida, por que estas rocas, son las que muestran el mejor desarrollo de flat irons, dip slopes o pendientes estructurales. La densificación de estas formas en las calizas es tan alta, que es otro criterio utilizado para la identificación de las calizas y su diferenciación con las areniscas. (Modelos estereoscópicos 21, 20, 35, 50 y 103)

12) Cuando las calizas se hallan horizontales, el diseño de tono oval o amigdoidal que desarrollan, es muy característico, debido a los muy marcados tonos claros, gris claros, que contrastan con tonos de gris. (Modelos estereoscópicos 24 y 25).

13) Constituyen buenos estratos guias y conspicuos, que pueden ser fácilmente seguidos y delineados en las fotografías aéreas.

14) Diaclasas, fracturas y fallas, se identifican en las fotografías aéreas con relativa facilidad, porque a lo largo de ellas se distribuye la vegetación, se concentra la humedad y se ajustan las lineas de drenaje, de manera que esos sectores muestran alineaciones de tonos más oscuros. La dolomita, por su contenido de magnesió, es más dura, y el diaclasamiento es más acentuado.

Otras características

15) Por lo general el desarrollo de la vegetación en las calizas, es más pobre que en otras rocas. Existe cierto tipo de vegetación selectiva que se halla asociada con estas rocas.

11.3.4 **Características Fotogeológicas del Grupo de las rocas Evaporíticas.-** Este tipo de depósitos, constituido especialmente por yesos, anhidrita, pueden desarrollar grandes espesores, que generalmente se hallan mezclados con rocas arcillosas, arenaceas, calcareas, frecuentemente interlaminadas.

Expresión morfológica y características estructurales

1) Por su gran plasticidad, se presentan asociadas con estructuras diapíricas o **diapiros**, en zonas de plegamientos o de fallamiento, adoptando diferentes formas, definidas por la

erosión, el tamaño del diapiro, la pureza y contenido de yeso y/o anhidrita, su asociación con los diferentes tipos de rocas anteriormente mencionados, condiciones climáticas, etc.

2) La identificación de estas rocas en las fotografías aéreas, es posible realizarla, especialmente cuando se puede establecer la relación entre las rocas que han sido cortadas o afectadas por la estructura diapírica, que por lo general se halla asociada con núcleos de estructuras anticlinales falladas, o zonas de fallamiento.

   En regiones áridas o semiáridas, estos depósitos poco resistentes a la erosión, desarrollan formas irregulares que generalmente, presentan una expresión morfológica que sobresale en el relieve. con una expresión muy similar a la que presentan áreas de arcillas o conglomerados poco consolidados, (Modelos estereoscópicos 6, 30, 55 y 62). Si los diapiros son pequeños o la intrusión se ha realizado a favor de una falla o fractura, su identificación es más dificil.

3) Cuando se trata de depósitos de gran espesor y de cierta extensión de afloramiento, interestratificada con rocas arcillosas, arenaceas, conglomerádicas, desarrollan un relieve que morfológicamente es muy similar a la que presentan las rocas asociadas a esa secuencia. Por ejemplo, sí el porcentaje de bancos de areniscas o conglomerados es alto, llegarán a adquirir una expresión mórfológica parecida aunque atenuada al de esas rocas (modelo estereoscópico 95). Por el contrario, con mayor porcentaje de yesos, la expresión será más parecida a la de las arcillas, aunque con desarrollo de algunas formas de disolución, como pequeños sumideros, lagos, depresiones alineadas a lo largo de fracturas y fallas, y un drenaje de menor densidad. (Modelo estereoscópico 62)

Textura fotográfica

4) La textura fotográfica, varía de acuerdo al carácter de estos depósitos. Cuando se halla estratificado con otras rocas, y con buenos espesores, la textura será media. Por el contrario, si no está interestratificado con otras rocas, la textura será suave o lisa.

Tono fotográfico

5) En el caso de este tipo de depósitos, el tono fotográfico, se convierte en un criterio fotogeológico muy importante, en su identificación. El tono caracteristico es el blanco a gris claro. (Modelos estereoscópicos 62, 95, 30 y 6)

Diseño drenaje

6) En estructuras diapíricas, con relieve positivo, pueden desarrollar un diseño de drenaje radial o un diseño de drenaje dendrítico, que constituyen una típico ejemplo de anomalia de drenaje, ya que no corresponde al drenaje general del área. (Modelos estereoscópicos 6 y 30).

7) Cuando se trata de espesores considerables y de gran extensión de afloramiento, desarrollan un diseño de drenaje dendrítico, de densidad media, asociado con algunas formas de disolución como sumideros, lagos, depresiones, hundimientos, etc. (Modelos estereoscópicos 62 y 95).

11.3.5 **Depósitos no consolidados .-** Este tipo de depósitos superficiales, que son el producto de la acumulación realizada por la acción de agentes y procesos fluviales, eólicos, lacustres, de glaciación y otros, pueden ser identificados en las fotografías aéreas, por su asociación a las geoformas producto de los mismos procesos geomórficos. Por lo tanto el reconocimiento o la identificación de las diferentes geoformas, conducen de manera indirecta a inferir el tipo de depósito asociado a dicha geoforma. Ello significa que el principal criterio utilizado para identificar los depósitos superficiales, es el geomorfológico.

El till, puede ser identificado en la fotografía aérea a través de la identificación de los diferentes tipos de morrenas.

La identificación de abanicos aluviales, generalmente sugiere la presencia de depósitos aluviales heterogéneos. (Gravas, arenas y arcillas).

Las diferentes formas asociadas con llanuras aluviales, sugieren la presencia de diferentes tipos de depósitos. Gravas y arenas, son más comúnes en el lecho de los ríos, bancos y terrazas. Limos en general, se hallan asociados con diques naturales. Arcillas finas en altos porcentajes, se hallarán asociados con los depósitos de pantano, etc.

En los capítulos VIII, IX y X, se presentan los principales criterios para la identificación de las diferentes geoformas y depósitos asociados a ellas.

Sin embargo existen depósitos superficiales de grandes extensiones, en los cuales a veces es dificil correlacionarlas con algunas geoformas, debiendo en este caso acudir a los diferentes criterios fotogeológicos como textura de tono, tono fotográfico, densidad de drenaje, y otros. Entre los depósitos más comunes, se hallan las gravas, arenas, arcillas, cuyas características fotogeológicas generales son las siguientes:

GRAVAS - GUIJARROS - BLOQUES

Este grupo de sedimentos corresponde al grupo de sedimentos de diametro mayor, que en la fotografía aérea, puede ser identificada por las siguientes características fotogeológicas:

Tono fotográfico

Muy claros a gris claros

Densidad de drenaje

En superficies de relieve plano, constituidas por estos sedimentos, debido al alto grado de permeabilidad, la densidad de drenaje es muy baja y en algunos casos, hay ausencia de drenaje. (modelo estereoscópico 55)

Expresión morfológica.

Las pendientes que se desarrollan sobre estos sedimentos, son verticales.

ARENAS

Tono fotográfico

Tonos claros a gris claros.

Densidad de drenaje .

Ausente.

ARCILLAS

Tono fotográfico

Tonos gris a gris oscuros, en función del color del sedimento y del contenido de humedad, a mayor porcentaje, tonos más oscuros.

Densidad de drenaje

Por la textura fina de este sedimento, la densidad de drenaje es alta. Puede desarrollar un diseño de drenaje dendrítico.

Expresión morfológica

Por su cohesión, desarrolla taludes de alto ángulo, que pueden ser suavisadas.

Cuando se hallan muy expuestas a la erosión, pueden desarrollar un paisaje de Bad Lands o Tierras Malas.

DIAMICTO (CENOGLOMERADO)

Este término se utiliza para referirse a una mezcla heterogénea de sedimentos gruesos y finos, sin selección granulométrica, que son el resultado de flujos rapidos de escombros, como en los **torrentes de barro**. cuya designación más específica en este caso corresponde al de cenoglomerado. (Modelos estereoscópicos 5 y 55)

Tono Fotográfico

Por su caracter heterogéneo, se registra en tono gris claro a gris oscuro.

Densidad de drenaje .

De igual manera, la densidad de drenaje varia de acuerdo al porcentaje del contenido de material fino o grueso en el diamicto o cenoglomerado. El diseño de drenaje es dendrítico.

Expresión Morfológica.

Apariencia similar al relieve de las arcillas y conglomerados poco consolidados. Desarrollan un típico paisaje de Bad Lands o Tierras Malas. (Modelos estereoscópicos 5 y 55)

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS DE LAS ROCAS IGNEAS Y ROCAS METAMORFICAS

CAPITULO XII

12.1 CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS DE LAS ROCAS IGNEAS

Para identificar rocas ígneas en las fotografías aéreas, es necesario considerar la clasificación petrográfica de estas rocas, que establece dos grandes grupos en base a su modo de formación. Ellas son:

a) Rocas ígneas intrusivas

b) Rocas ígneas extrusivas

Los dos grupos de rocas ígneas, presentan características muy diferentes, y por lo tanto, los criterios y las características fotogeológicas, son también diferentes y pueden ser descritas de manera separada.

12.1.1 **Características fotogeológicas de las rocas ígneas intrusivas .-** Se llaman así, a las rocas formadas por cristalización lenta en el interior de la corteza terrestre. También son llamadas rocas plutónicas.

La identificación de las rocas ígneas intrusivas en las fotografías aéreas puede ser realizada en base a criterios relacionados con las características mismas de las rocas o en base a la relación estructural entre el cuerpo intrusivo y la roca intruida.

Primer caso

En el primer caso, las rocas intrusivas pueden ser identificadas, si ellas presentan afloramientos de gran extensión áreal, de manera que en éllos, se pueda analizar las diferentes características y criterios fotogeológicos que se emplean en la interpretación normal de cualquier tipo de roca.

En este sentido, primeramente se procederá a describir las características y criterios fotogeológicos que corresponden a estas rocas, bajo las condiciones establecidas en el primer caso.

Consideraciones generales

1) Existe una gran cantidad de rocas que pertenecen a este grupo, cuyas diferencias se hallan basadas en su composición mineralógica y química, textura y profundidad de formación. Por ello la asignación de un nombre a cada una de estas rocas, es solo posible, mediante el análisis petrográfico y químico.

   Esto significa que tratar de identificar de manera individual los diferentes tipos de rocas intrusivas en las fotografías aéreas, no es posible, por ello el reconocimiento de estas rocas en las fotografías aéreas, es más de tipo general, tratando de señalar solamente, si se trata de rocas de composición ácida o básica, sin asignar un nombre específico a la roca identificada.

2) Todas las rocas ígneas intrusivas, ya sea de composición ácida o básica, se caracterizan en general por la naturaleza homogenea que tienen en su apariencia, por lo que desarrollan formas muy similares, diferenciandose entre ellas, solo por el tono fotográfico registrado en las fotografías aéreas.

3) La roca intrusiva más común, por su relativa abundancia en comparación con el resto de este grupo de rocas, es el granito. Por esta razón en la descripción que se realice de estas rocas, se mencionará al granito como la roca más representativa de las rocas de composición ácida.

Expresión morfológica y condiciones climáticas

4) Las condiciones climáticas, la composición mineralógica, la textura de la roca, la cantidad de diaclasamiento, el grado de meteorización, el tipo de intrusión y la forma, determinan la expresión morfológica que estas rocas deban tener.

   En climas áridos y semiáridos, donde la acción de la meteorización química no es muy importante, estas rocas son muy resistentes a la erosión y por ello su expresión morfológica es fuerte, ocupando las partes más elevadas del relieve. La vegetación se concentra a lo largo de las fracturas, diaclasas o zonas de falla. En el caso del granito, será más resistentes a la erosión, si la roca contiene poca biotita y plagioclasa, abundancia de microclinas, gran proporción de cuarzo, granos pequeños y escasez de diaclasamiento.

   En climas húmedos, tropicales y subtropicales, donde la acción de la meteorización química es intensa, estas rocas son más fácilmente atacadas por la acción de la meteorización y erosión, especialmente si la textura de la roca, es gruesa, desarrollando formas más redondeadas, con un relieve de colinas de poca elevación y uniforme en alturas. La vegetación en este caso se halla bien distribuida. En el granito, disminuirá su resistencia a la erosión, si la textura es gruesa, y se halla fuertemente diaclasada.

   A pesar de las consideraciones realizadas, el comportamiento de las diferentes rocas ígneas a la acción de la erosión, en especial del granito es muy variable, aún en las mismas condiciones climáticas dentro la misma zona, presenta diferencias muy marcadas en su resistencia a la erosión.

Textura fotográfica

5) Presentan una textura muy áspera y rugosa muy parecida a las areniscas de grano grueso. (Modelo estereoscópico 75)

Tono fotográfico

6) El tono fotográfico, puede ser utilizado como un criterio para diferenciar a las rocas ígneas en función del contenido de sílice y composición mineralógica. De acuerdo a lo dicho, las rocas ígneas se registrarán en tonos claros, gris claros, gris y gris oscuros de acuerdo a las siguientes generalizaciones:

- Rocas ígneas intrusivas ácidas se registran en tonos gris claros a grises
- Rocas ígneas intrusiva básicas se registran en tonos gris oscuros a negros.
- Rocas ígneas intrusiva de composición intermedia se registran en tonos grises

Sin embargo, estas generalizaciones, no son definitivas, ya que como se indicó en el capítulo VI, existen varios factores que pueden afectar y modificar los tonos fotográficos, por lo que existe una relativa subjetividad, si se pretende utilizar solo el tono fotográfico, en la identificación de las rocas, ya que puede ocurrir que rocas ácidas que deberían registrarse en tonos claros, se registren en tonos oscuros, debido a algún efecto de meteorización en la roca.

Diseño de drenaje

7) Por la homogeneidad de estas rocas, el diseño general de drenaje es el dendrítico, con variedades relacionadas con algunas características locales, que ellas presentan.

Entre las más comunes se hallan las siguientes:

a) Cuando la roca, ha sido afectada por procesos de meteorización física, como expansión por liberación de carga, expansión térmica, combinados con procesos de meteorización quimica, como hidratación, oxidación, en las rocas se produce un efecto de meteorización llamada exfoliación concéntrica, o meteorización en cebolla, desarrollando formas dómicas, y redondeadas, con pendientes convexas, desarrollando un diseño de drenaje dendrítico variedad Tenaza, caracterizado porque los cursos de los ríos tanto en las cabeceras como en el curso individual de los ríos, muestran deflecciónes muy marcadas de tipo semicircular. (figura 7.7)

b) Cuando la roca ígnea, se halla muy diaclasada, fracturada o fallada, el diseño de drenaje muestra un control en sus ríos componentes, caracterizados por cursos rectilineos, que puede desarrollar un diseño angular o un diseño subdendrítico.

8) Es muy común que estas rocas, se hallen en sectores fallada y diaclasada y en otros seá más importante la meteorización esferoidal, por lo que es muy frecuente observar en estas rocas, un diseño mixto angular, dendrítico tenaza.

9) Cuando la expresión morfológica es fuerte y desarrolla un relieve de montaña, el diseño de drenaje puede ser radial. Los domos de exfoliación tambien pueden desarrollar un diseño de drenaje radial.

10) La densidad de drenaje, en general es media a baja.

11) Los pequeños valles tributarios o arroyos, son poco profundos, estrechos, en forma de V.

Características estructurales

12) Algunas de las características y criterios fotogeológicos descritos anteriormente, son algo similares a las presentadas por las areniscas cuarzosas, especialmente las de grano grueso.

Para poder establecer la diferencia entre ambas rocas, se debe acudir a criterios estructurales, relacionados con la presencia o ausencia de la estratificación, tipo de diaclasamiento, y sus relaciónes con rocas vecinas.

13) La ausencia total de estratificación y buzamientos, permite definir si la roca es ígnea intrusiva y diferenciarla de las areniscas. (Modelos estereoscópicos 75, 104)

14) El diaclasamiento en estas rocas, generalmente es caótico o desordenado, con tendencia dominante en tres direcciones, cuyas intersecciones desarrollan formas triángulares, a diferencia del diaclasamiento en las areniscas, que generalmente muestran dos direcciones preferentes, perpendiculares entre si o con ángulos menores a 90^{o}. (Modelos estereoscópicos 75, 104)

15) La relación estructural entre esta roca con las rocas que la circundan, puede ser utilizado como otro criterio importante para diferenciarla de las areniscas.

Segundo caso

La identificación de las rocas ígneas intrusivas, también se las realiza por las relaciones estructurales entre el intrusivo y las rocas que han sido intruidas.

Los cuerpos ígneos intrusivos pueden ser divididos en dos grupos:

A. CUERPOS CONCORDANTES

1) Filones capas, mantos o Sills

2) Lacolitos

3) Facolitos

4) Lopolitos

B. CUERPOS DISCORDANTES

1) Diques

2) Diques anulares

3) Batolitos

4) Stocks

12.1.1.1 **Cuerpos ígneos intrusivos conçordantes y su identificación en las fotografías aéreas.-** Se denominan así a todos aquellos cuerpos ígneos que al intruir otras rocas, presentan contactos que son paralelos a la esquistosidad o estratificación de las roca más antiguas.

Lacolitos

Son cuerpos concordantes con la estratificación, que producen un levantamiento y arqueo de los estratos que intruye, modificando el valor de sus buzamientos, aumentando su inclinación o volcandolos. Debido a su gran resistencia y compactibilidad constituyen formas lenticulares muy prominentes. (Figura 12.1.a) Generalmente las dimensiones de estos cuerpos tienen diámetros que varían entre 3 y 7 Km, con espesores que sobrepasan varios centenares de metros.

Existe una transición entre lacolitos y filones capas o Mantos, por ello es que se trata de establecer una relación entre el diámetro y el espesor del cuerpo, para que sea considerado ya sea un manto o un lacolito. Esta relación establece que el diámetro de un lacolito es solo una pocas veces mayor que el espesor. Por el contrario en los mantos o filones capa el diametro supera como mínimo en diez veces a su espesor. Su identificación en las fotografías aéreas, es realizada por su forma y su relación estructural con la roca y complementada con las características fotogeológicas de las rocas que componen este cuerpo.

Filones capas o Mantos (Sill)

Son cuerpos ígneos cuyos emplazamientos son paralelos a la estratificación de las rocas sedimentarias, que en ciertos casos luego de seguir un determinado plano de estratificación, cambia a niveles más altos o más bajos, coincidentes con otros planos de estratificación. (Figura 12.1.b)

La identificación de mantos en la fotografía aérea, es muy difícil, precisamente por el caracter concordante de estos cuerpos con las rocas sedimentarias que intruyen. Por ello pueden ser confundidos con estratos muy resistentes a la erosión, o inclusive con coladas de lava de poco espesor.

Sin embargo, algunos criterios, como la asociación que casi siempre tienen estos cuerpos con diques ígneos, pueden ayudar al fotogeólogo para que considere la posibilidad de la presencia e identificación de estos cuerpos. (Modelos estereoscópicos 92, 91 82, 81). En climas semiáridos, con ausencia de vegetación, como el de los ejemplos citados, el contraste con las rocas sedimentarias intruidas es más notorio, porque la erosión diferencial permite acentuar la expresión de los mantos, siempre que ellos sean más resistentes a la erosión.

Los tonos fotográficos varian de acuerdo a la composición del manto, al igual que en cualquier roca ígnea.

Facolitos

Son cuerpos lenticulares concordantes a las crestas de los anticlinales, que tanto en planta como en sección transversal tienen la forma de media luna. (Figura 12.1.c).

Aunque en apariencia son similares a los lacolitos, la diferencia principal entre ellos, es que el lacolito es la causa del plegamiento o deformación de las rocas sedimentarias intruidas, mientras que el facolito es una consecuencia del plegamiento, que es emplazado pasivamente, rellenando los espacios potenciales que se forman durante el plegamiento.

Las dimensiones de estos cuerpos, generalmente varian entre algunos cientos de metros a un máximo de algunos miles de metros.

Los tonos fotográficos varián de acuerdo a la composición del facolito.

La identificación en las fotografías aéreas se la realiza asociando el criterio de forma con las características fotogeológicas de la roca como tal.

Lopolitos

Es una intrusion concordante asociada con cuencas estructurales, pliegues sinclinales, que adoptan formas de embudo, o de cuchara. (Figura 12.1.d). Sin embargo se debe recalcar que no es muy importante la disposición que tengan las rocas suprayacentes, pueden tener la forma de domo, ser sinclinal o tener plegamientos suaves u horizontales.

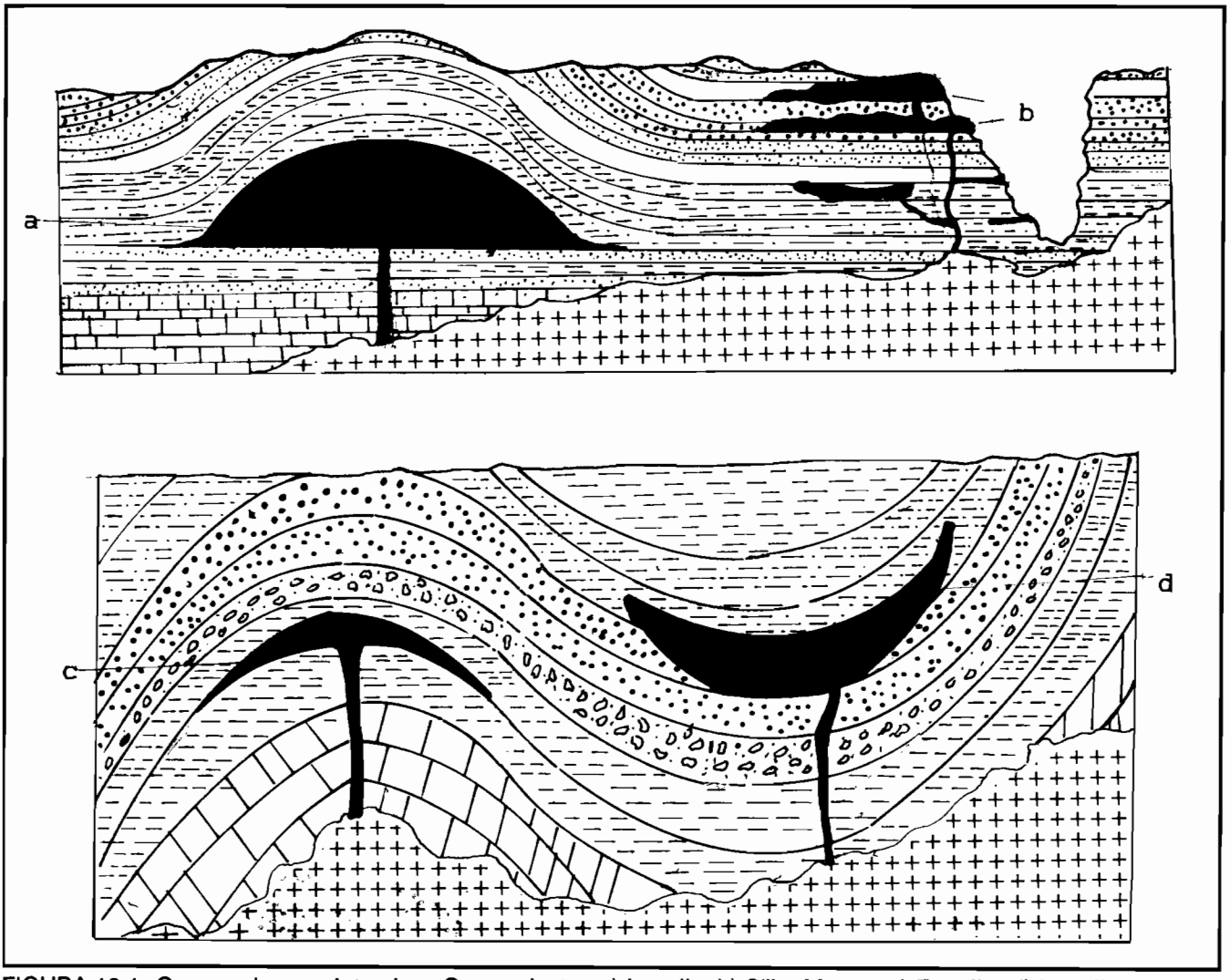


FIGURA 12.1 Cuerpos Igneos Intrusivos Concordantes a) Lacolito b) Sill o Mantos c) Facolito d) Lopolito

En la situación más sencilla e ideal, tanto los estratos ubicados por encima y debajo del lopolito, se inclinan hacia un centro común.

Para la identificación de estos cuerpos en las fotografias aéreas, se requiere de un gran número de ellas, debido a la dimensión que tienen estos cuerpos, que por lo general en extensión puede llegar a miles de kilómetros, con espesores que sobrepasan el orden de miles de metros.

Los tonos fotográficos de registro se hallan en función de la composición de la roca ígnea.

12.1.1.2 **Cuerpos intrusivos discordantes y su identificación en las fotografías aéreas.-** Se designan así a los cuerpos intrusivos que cortan la estratificación o esquistosidad de las rocas más antiguas que intruye. (Figura 12.2)

Diques Igneos

Los siguientes son los criterios más utilizados para la identificación de estos cuerpos intrusivos en la fotografía aérea:

1) Cortan los planos de estratificación de las rocas sedimentarias y son discordantes de ellas. (Modelos estereoscópicos 91, 92, 82, 81). Tambien son considerados diques, aquellos cuerpos tabulares de roca intrusiva que cortan otras rocas macizas sin estructura.

2) Por lo general muestran algunas características asociadas a las diaclasas, fracturas o fallas, a través de las cuales se han formado. Como los diques siguen planos de dislocación, las fotografías aéreas pueden revelar discontinuidades, que pueden ser asociadas con zonas de fallamiento.

3) Morfológicamente, cuando el dique es más resistente que la roca que intruye, adquiere una expresión positiva, caracterizada por crestas o paredes estrechas, prominentes, de longitudes y espesores variables, de acuerdo a las dimensiones del dique.

4) Las dimensiones de los dique son muy variables, por lo general se considera que el máximo espesor que pueden alcanzar es 100 metros, aúnque en longitud pueden sobrepasar varios kilómetros. Los espesores más comunes, varián entre 50 centimetros y 3 metros.

5) Si los diques son de espesores muy delgados, su expresión morfológica es similar a la roca que intruye, de manera que su identificación no es tan sencilla.

6) Si el dique intruye a rocas más duras, la acción de la erosión será más intensa en el dique, dando lugar a la formación de trincheras.

7) Los tonos fotográficos de registro, varian de acuerdo a la composición del dique. Diques de composición ácida, se registran en tonos claros y diques básicos en tonos oscuros.

8) Debido a la mayor fluidez y movilidad de los magmas básicos son más frecuentes los diques de composición básica.

9) Bajo condiciones climáticas diferentes, la identificación de diques será más facil de realizar en regiones áridas y semiáridas que en regiones tropicales y subtropicales, debido a la cubierta vegetal y suelos que enmascaran estos cuerpos o al grado de meteorización que puede atenuar su expresión morfológica.

10) La alteración de diques, es generalmente utilizada como guia en la la prospección de yacimientos minerales.

11) Los diques tienen ciertas tendencias de orientación que reflejan un control debido a un sistema de fracturación, que también puede estar asociada con una composición determinada que a veces puede hallarse mineralizada. Por lo tanto es posible encontrar una serie de diques paralelos que constituyen un **juego de diques**. De igual manera en una determinada región pueden ocurrir varios juegos de diques, cada uno de ellos con sus propias características petrográficas, edades diferentes, espesores diferentes, etc.

12) Existen tres variedades de diques asociados a condiciones diferentes en su formación.

a) **Diques radiales** Parten de un centro común, en la fotografía aérea, es de facil identificación, por el diseño radial que muestran estos cuerpos al partir desde un centro volcánico y caracterizados por su longitud de varios kilómetros.

b) **Diques Cónicos** pertenecen a sistemas concéntricos, con buzamientos promedio de 45°, que convergen hacia un foco ígneo común en profundidad.(Figura 12.2)

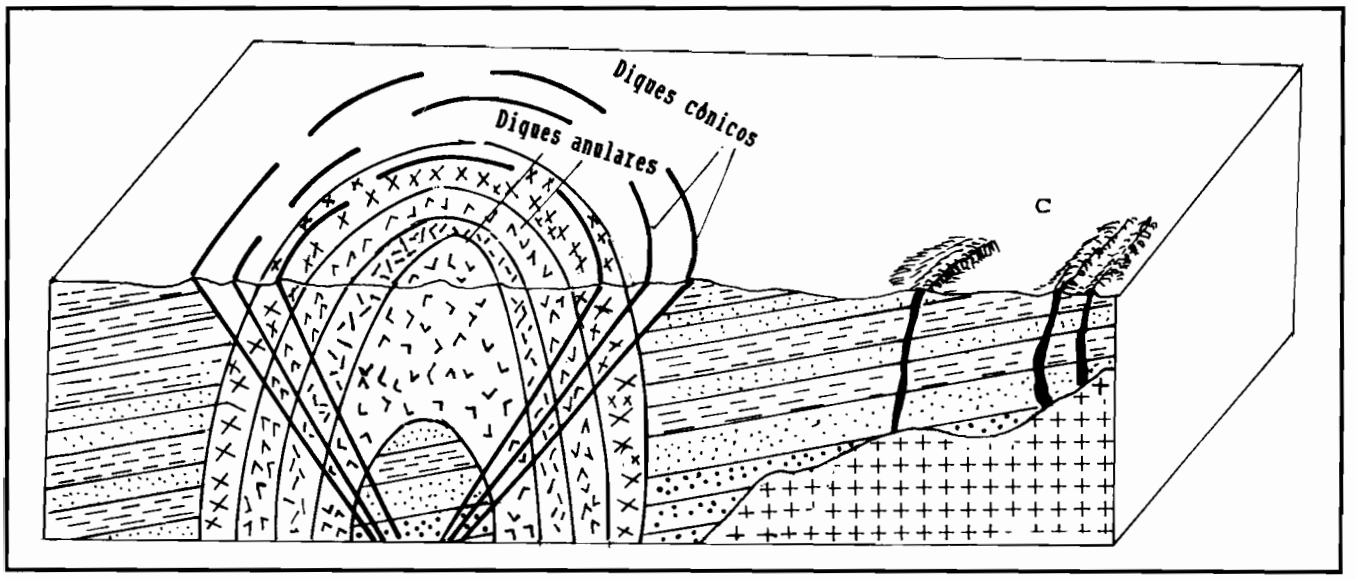


FIGURA 12.2 Cuerpos ígneos intrusivos discordantes a) Diques cónicos b) Diques anulares c) Diques

c) **Diques Anulares** En la fotografía aérea se identifican por las forma oval o arqueada, que muestran los afloramientos de estos diques. (Figura 12.2)

Los diques anulares tienen algunas características que las diferencian de los otros tipos de diques. Ellas son:

- La asociación que pueden tener con vulcanitas hundidas tectónicamente, que corresponden al mismo ciclo ígneo de los diques anulares.

- El espesor promedio es de 500 metros, con un máximo de 4500 metros y de longitudes que varian entre 7 kilómetros a 40 Kilómetros.

- El mecanismo de formación de los diques anulares, es denominado Hundimiento en caldera. En este esquema se podría explicar el desarrollo del complejo volcánico de Kari Kari - Cerro Rico de Potosí, ubicado al E y SE de la ciudad de Potosí. (Bolivia) (Imagen satelite foto 1.3). Sin embargo requiere de investigaciones más detallada.

Batolitos

Es un término para referirse a cuerpos intrusivos de dimensiones muy grandes, que en general ocupan áreas mayores a 100 Km^2.

Por las dimensiones indicadas, generalmente se requiere de muchas fotografías aéreas, para apreciar el área total cubierta por estos cuerpos, si la escala de la fotografía aérea corresponde a la utilizada para mapeo geológico regional 1:50000

Se halla constituido por magmas graníticos y granodioríticos, en la mayoría de los casos los batolitos son compuestos y consisten de númerosas variedades de rocas plutónicas, que pueden ser emplazadas en tiempos diferentes.

Los batolitos tienen formas irregulares de expresión morfológica fuerte, constituyen el relieve más alto de las cordilleras. (modelos estereoscópicos 75, 104).

Estos cuerpos se agrandan hacia abajo, cuyo parte basal o piso se halla a grandes profundidades mayores a algunos kilómetros, razón por la cual el piso de estos cuerpos nunca es visible. El techo de estos cuerpos es irregular y es el que define la forma del batolito en superficie.

Stocks

Se utiliza este término para referirse a aquellos cuerpos intrusivos de dimensiones pequeñas que generalmente cubren áreas menores a los 100 Km^2.

A continuación se presentan los principales criterios fotogeológicos, más utilizados para la identificación de stocks en las fotografías aéreas:

- Formas muy irregulares, de expresión morfológica muy fuerte, cuyos limites con la roca intruida pueden ser delineados por las diferencias marcadas que existe entre el diseño de drenaje, tono fotográfico y expresión morfológica, del stock y las rocas intruidas, constituyendo típicas anomalias de drenaje, de tono y morfológica. (Modelos estereoscópicos 40, 63 81, 82)

- La interrupción en la continuidad de estructuras plegadas es otro criterio que ayuda en la identificación de estos cuerpos. Es muy común observar en las fotografías aéreas, ejes de de pliegues anticlinales y sinclinales, interrumpidos o cortados por stocks, que luego nuevamente reaparecen cuando se alejan del cuerpo intrusivo. (Modelos estereoscópicos 82, 81 63, 40, y figura 12.3)

- En el área de influencia del Stock, los estratos son disturbados. Ello provoca modificaciónes en el rumbo y buzamiento de los estratos, llegando en ciertos casos a que los buzamientos tengan valores más altos e incluso lleguen a invertir la dirección del buzamiento (estratos volcados). (Modelos estereoscópicos 82, 63, 81 y figura 12.3)

- De acuerdo a la plasticidad o fragilidad de las rocas afectadas por el cuerpo intrusivo, ellas pueden ser replegadas, desarrollando pliegues menores, o falladas, generalmente con fallas transversales. (Modelos estereoscópicos 82, 63 y figura 12.3)

- Fracturas, grietas o fisuras generalmente son rellenadas por el magma fluido dando lugar a la formación de diques, mantos, que cortan a las rocas intruidas. (Modelos estereoscópicos 40, 81 y figura 12.3)

- Presencia de una zona de metamorfismo de contacto, que provoca un cambio en las características originales de las rocas sedimentarias, las que generalmente adquieren una expresión mucho más fuerte que su expresión original. (Desarrollo de un halo de metamorfismo). (Modelos estereoscópicos 81, 82 ,40, 63)

- Modificación del diseño de drenaje, a un tipo de drenaje radial y/o combinación de un diseño de tipo anular radial. Este diseño de drenaje corresponde a una anomalia de drenaje. (Modelos estereoscópicos 40, 81, 82, 63)



FIGURA 12.3 Representación esquemática de los criterios utilizados para la identificación de Stocks.

- Variación local del tono en relación a los tonos de zona que rodea al stock. Corresponde a una anomalia tonal. (Modelos estereoscópicos 63, 40)

12.1.2 **Características fotogeológicas de las rocas ígneas extrusivas .-** Corresponde al grupo de rocas ígneas que son el resultado de la consolidación del magma, que llega a la superficie, luego de haber ascendido por conductos, fisuras u orificios, y derramarse sobre el terreno. Este material fundido que llega a la superficie, es denominado **Lava**, que luego de solidificarse, adquiere características muy particulares y diferentes a las del grupo de las rocas ígneas intrusivas.

Otro tipo de material eyectado por el aire, y depositado sobre la superficie, corresponde al grupo de rocas piroclásticas, constituidas por fragmentos, cuyos tamaños varian desde el orden de fracciones de milimetros a varios metros. La tabla 12.1, es un resumen generalizado, de los materiales piroclásticos, su tamaño y el nombre de la roca, cuando se consolidan estos depósitos.

TABLA 12.1

CLASIFICACION DE LAS ROCAS PIROCLASTICAS

MATERIAL	TAMAÑO	ROCA
Polvo volcánico	< 0.25 mm	
Ceniza Volcánica	0.25 mm a 2.00 mm	Toba
Lapilli	2.00 mm a 64.00 mm	Lapilli Aglomerado Lapilli Brecha
Bloques	> 64.00 mm	Brecha
Bombas	> 64.00 mm (estado plástico)	Aglomerado

La identificación de rocas ígneas extrusivas en las fotografias aéreas, se la realiza con mayor facilidad en comparación a las rocas ígneas intrusivas, por la asociación que ellas tienen con un grupo de formas, que desarrollan una morfología totalmente diferente al relieve anterior al cual se sobreponen y constituyen el grupo de las diferentes formas volcánicas.

Sin embargo, también es posible identificar a estas rocas, solo en base a criterios fotogeológicos que corresponde a la roca misma. A continuación se presentan, los indicados criterios:

Expresión morfológica

1) Como se indicó anteriormente, la expresión morfológica de estas rocas, se la puede realizar en base a las geoformas que ellas desarrollan. Entre las geoformas más importantes que pueden ser identificadas en las fotografías aéreas, se hallan los diferentes tipos de conos volcánicos, coladas de lavas, mesetas de lava y llanuras de lava. (Modelos estereoscópicos 11, 15, 44, 45, 51, 52, 53, 54, 71, 101, 105, 106 y 107)

2) En regiones de climas semiáridos y áridos, las rocas ígneas extrusivas, presentan un relieve muy fuerte y marcado. Generalmente ocupan las partes más altas del relieve.

Textura fotográfica

3) Este grupo de rocas, muestra en la fotografía aérea una textura áspera, rugosa, corrugada, algo similar a las areniscas y rocas ígneas intrusivas.

Por estas razones, este criterio no puede ser utilizado en forma aislada, en la identificación de estas rocas en las fotografías aéreas. Para la correcta identificación de estas rocas es necesario complementar el análisis fotogeológico, utilizando los otros criterios fotogeológicos. (Modelos estereoscópicos 11,15, 44, 45, 51, 52, 53, 54, 63, 71, 101, 105, 106 y 107)

4) Es importante hacer notar que en el caso de las rocas piroclásticas, en especial las de textura fina, como ceniza volcánica, tobas volcánicas, en la fotografía aérea, muestran una textura fotográfica suave, similar a las rocas arcillosas.

Tono fotográfico

5) Los tonos fotográficos en los que se registran estas rocas en las fotografías aéreas, se hallan en función de su composición.

- Rocas ígneas extrusivas ácidas se registran en tonos gris claros a grises (Riolitas, dacitas)

- Rocas ígneas extrusivas básicas y ultrabásicas se registran en tonos gris oscuros a negros. (Basaltos)

- Rocas ígneas extrusivas de composición intermedia se registran en tonos grises. (Andesitas)

6) Un diseño de tono especial es el que presentan las lavas basálticas, que corresponde al diseño de tono **moteado o piel de víbora**, llamado así por la semejanza que este tono tiene con el aspecto que muestra la piel de estos reptiles. La razón para que se desarrolle este tipo de diseño tonal, se debe al diaclasamiento hexagonal o columnar, característico de estas lavas. Este diaclasamiento columnar, desarrolla en superficie formas poligonales, generalmente hexagonales, sobre las que actúa en forma diferencial la meteorización y erosión, de manera que los bordes de estos hexágonos adquieren tonos más oscuros que en su parte central, que le confieren el mencionado diseño de tono moteado.

7) Los diferentes tipos de efusivos generalmente se hallan asociados a depósitos piroclásticos. Las tobas y cenizas volcánicas, presentan tonos fotográficos muy claros hasta blancos.

8) El criterio de tono para la identificación de rocas ígneas extrusivas debe ser tomado con mucho cuidado, ya que a menudo las lavas de mayor edad, adquieren tonos más claros independientes de su composición. En otros casos, pueden modificarse sus tonos a blancos o gris claros, por los efectos de alteración y meteorización, a que son sometidas estas rocas.

Diseño de drenaje

9) Estas rocas pueden desarrollar diferentes tipos de diseños de drenaje, dependiendo de las geoformas con las que se halla asociada, del espesor, del tipo de diaclasamiento, del grado de disección, etc.

- Mesetas de lavas, muy diaclasadas que corresponden a flujos antiguos, desarrollan un drenaje bien espaciado, de tipo angular, rectangular o paralelo, que refleja el ajuste de las líneas de drenaje al diaclasamiento. (Modelos estereoscópicos 105, 106).

- Si las mesetas de lavas, no se hallan muy diaclasadas, desarrollarán una combinación de diseños de drenaje angular o rectangular con dendrítico. (Modelos estereoscópicos 44 y 45)

- Sobre flujos de lavas jovenes o recientes, generalmente se desarrolla un drenaje que inicialmente es debido a la porosidad de la roca ocasionado por el diaclasamiento. (Modelos estereoscópicos 11 y 51)

- Lavas asociadas con conos volcánicos, desarrollarán un diseño de drenaje radial. (Modelos estereoscópicos 51, 52, 53, 54 y 107). Cuando los conos volcánicos, presentan cráteres o calderas, en ellas se desarrolla un drenaje centripetal asociado al drenaje radial. (Modelos estereoscópicos 52 y 53)

Características estructurales

10) La relación estructural entre los flujos de lavas y las rocas subyacentes, puede ser utilizada como criterio en la identificación de estas rocas, especialmente si el área no se halla muy deformada. En ese caso la identificación de discordancias, puede ayudar a inferir la presencia de este tipo de rocas. Por el contrario, si los flujos de lava, se hallan fuertemente deformados o plegados, su reconocimiento en las fotografías aéreas puede resultar muy difícil o imposible.

11) Cuando se trata de varias coladas de lava intercaladas con piroclastos, asociadas con el desarrollo de una meseta, puede presentar un modelo parecido a la que muestran las rocas sedimentarias estratificadas horizontalmente. En esas condiciones, puede desarrollarse un diseño de tono oval o amigdoidal, similar al que presentan las rocas sedimentarias, con las que puede ser confundida en la fotografía aérea, en el proceso de interpretación. Sin embargo algunas características de las lavas, como estructuras fluidales, que son más claras en rocas basálticas, podría constituir un criterio en su diferenciación.

12) El diaclasamiento en la mayoría de las rocas extrusivas con excepción de los basaltos, es en dos direcciones perpendiculares entre si. El modelo de diaclasamiento en estas rocas, es similar al que presentan las rocas sedimentarias, razón por la cual, se debe acudir a otros criterios complementarios para establecer la diferencia entre estos dos tipos de rocas. (Modelos estereoscópicos 54, 71, 105 y 106)

Identificación en la fotografía aérea del grupo de rocas ígneas extrusivas, utilizando como criterio principal las diferentes formas asociadas con el volcanismo

En párrafos anteriores, se ha tratado de presentar algunos criterios fotogeológicos, para la identificación de las rocas ígneas extrusivas, basadas solamente en las características que dichas rocas poseen, sin acudir a su asociación con las formas volcánicas que ellas pueden desarrollar. Es lógico suponer, que la identificación final de una roca ígnea extrusiva en la fotografía aérea, debe necesariamente ser completada con el ánalisis de las formas volcánicas asociadas a estas rocas.

Antes de entrar en dicho análisis, es necesario realizar algunas consideraciones, relacionadas con algunos conceptos teóricos sobre las características del volcanismo o la actividad volcánica, que conducen a una modificación total de un paisaje, o su sepultamiento.

El volcanismo es un grupo de procesos endógenos, mediante los cuales, el magma fundido en el interior de la corteza terrestre, llega a la superficie, a través de de conductos y fisuras, en forma de diferentes tipos de erupciones, caracterizadas por la composición química muy variada del material eyectado. Existen diferentes maneras para clasificar a las formas resultantes de la actividad volcánica. Entre las más utilizadas se hallan las clasificaciónes de acuerdo a los tipos de erupción y la que considera los tipos de formas volcánicas en función de la clase de material eyectado. Sin embargo ninguna de las clasificaciones es completamente satisfactoria, ya que solo son adecuadas bajo algunas circunstancias especiales. Generalmente, en un mismo volcán, puede ocurrir varias erupciones que corresponden a diferentes clases de erupción, desde erupciones explosivas hasta erupciones muy tranquilas con emisión de lavas muy fluidas. Por esta razón es que también las formas de los volcanes, pueden modificarse constantemente por la sobreposición de los diferentes tipos de erupción, que pueden ocurrir en el mismo volcán.

A continuación se presenta la clasificación basada en el carácter de las erupciones, propuesta por Mercarelli (1907), modificada por Lacroix (1908), y complementada por Sapper (1927).

Flujos basálticos

Tipo Hawaiano

Tipo Estromboliano

Tipo Vulcaniano

Tipo Peleano

Tipo Pliniano

Flujos Riolíticos

Los nombres utilizados para designar a los diferentes tipos de erupción, corresponden a los volcanes que han sido tomados como modelos típicos de esta clase de actividad volcánica.

Entre cada una de estos tipos de erupción existe una gradación, empezando con un modelo de erupción tranquilo, de fisura, de lavas muy fluidas y de composición básica, terminando en erupciones de tipo explosivo, a través de conductos volcánicos, de lavas muy densas y de composición ácida.

Tipos de estructuras volcánicas

Las formas volcánicas, constituyen uno de los criteríos más importantes para la identificación de rocas ígneas extrusivas en las fotografías aéreas.

La forma que adopta un cuerpo volcánico, depende de la forma del conducto, del tipo de la erupción, de la composición y volúmen de las lavas eyectadas, del ángulo de reposo de los materiales eyectados, del grado de soldadura de los fragmentos, que en conjunto definen también el tamaño de estas estructuras volcánicas.

Antes de entrar en la clasificación y descripción de estas formas, (Conos volcánicos, mesetas de lavas) es necesario efectuar algunas consideraciones generales sobre estas formas volcánicas:

Los volcanes se elevan sobre el terreno circundante adquiriendo formas cónicas, generalmente constituidas por lavas, por material piroclástico, o mezcla de ambos materiales, eyectados por la misma estructura volcánica.

Las pendientes o laderas de estas formas, por lo general estan definidas por el ángulo de reposo de los materiales fluidos o sólidos emitidos por el conducto volcánico.

Como regla general se puede establecer que :

a) Materiales ricos en sílice dan lugar a conos volcánicos con desarrollo de pendientes empinadas que llegan hasta los 36^{o}.

b) Lavas basalticas producen formas con pendientes mas suaves entre 6^{o} y 10^{o}.

El crecimiento de un volcán por erupción, desde un pequeño cono de cinder hasta constituir un cono de dimensiones mayores no debe ser considerado como parte del ciclo de desarrollo de un volcán que pasa por las etapas de juventud a vejez.

Esto se debe principalmente a que estas formas se desarrollan con tal rápidez, que la erosión no afecta a ellos durante el período de su crecimiento.

Las formas volcánicas difieren de otras geoformas; debido a su aptitud para permanecer inalterables por efecto de las fuerzas de erosión.

Los efectos de erosión en los conos volcánicos, actuan con mayor intensidad, sobre volcanes extintos y de grandes dimensiones, en las que es posible apreciar las diferentes etapas del ciclo de erosión por las que pueden pasar estas formas.

La mayoría de las formas volcánicas que se pueden identificar en las fotografías aéreas, son de edades que van desde el Terciario al presente. Sobre los conos volcánicos extintos anteriores al Pleistoceno, pueden haber actuado procesos de glaciación, que desarrollan formas asociadas con este tipo de procesos, tales como : circos glaciares, morrenas laterales, etc. (Modelos estereoscópicos 51, 53 y 107)

Los conos volcánicos pueden tener diferentes tamaños, algunos solo cuentan con unos cuantos metros de altura mientras que otros pueden alcanzar alturas que pasan de los 3000 metros, con diámetros que sobrepasan algunos kilómetros.

Por lo general, un cono volcánico, se halla constituído en su tope o vértice, por una depresión de forma circular denominada cráter o caldera, ubicado por encima del conducto que alimenta el volcán y constituye el centro de mayor actividad. Cuando cesa esta actividad, el volcán se vuelve extinto. (Modelo estereoscópico 52).

Muchos conos volcánicos, pueden carecer de un cráter por la destrucción del mismo, si la erupción de tipo explosiva, ha sido violenta, o si el efecto de la erosión ha sido muy intenso. (Modelos estereoscópicos 54 y 107)

Los volcanes de acuerdo a su distribución y agrupamiento pueden constituir un **grupo de volcanes o una cadena de volcanes.** En el primer caso los volcanes se hallan agrupados sin ninguna distribución sistemática aparente.

En el caso de una cadena volcánica, ellos se hallan alineados y controlados en su distribución, por la presencia de zonas de debilidad o fracturación. Un ejemplo constituye la cadena volcánica, de la cordillera Occidental de los Andes en territorio boliviano, (Figuras 12.4 y 12.5 Mapa Geomorfológico de Bolivia) que pertenece al Cinturón de Fuego del Pacífico, hallándose en intima relación con el proceso de subducción de la placa oceánica de Nazca, asociada al solevantamiento del bloque andino y la producción de fracturas de dirección NWSE.

Si el volcanismo se halla limitado a áreas aisladas, se denomina **volcanismo de tipo central**. volcanes como el Vesubio, el Etna, corresponde a este tipo.

Luego de estas consideraciones que son comunes para los diferentes tipos de volcanes, se presenta una clasificación en la que se trata de agrupar la mayoría de las estructuras volcánicas, **considerando si ellas han sido construidas por la acción de una sola erupción o por repetidas erupciones**, ya sea a través del mismo conducto o por diferentes fisuras en la misma área.

Esta clasificación de manera indirecta, establece una relación entre el tamaño de las estructuras volcánicas y el número de erupciones responsables para su formación. En base a estos criterios, las estructuras volcánicas pueden clasificarse en dos grupos:

a) **Estructuras menores**

- Conos Piroclásticos

  Conos de Cinder

  Conos de Ceniza

- Conos de Salpicadura (Spatter Cones)

  Hornitos

b) **Estructuras mayores o Edificios volcánicos**

- Volcanes en Escudo
- Conos de Lava
- Conos Compuestos
- Estrato volcanes
- Domos volcánicos
- Mesetas y llanuras de Lava

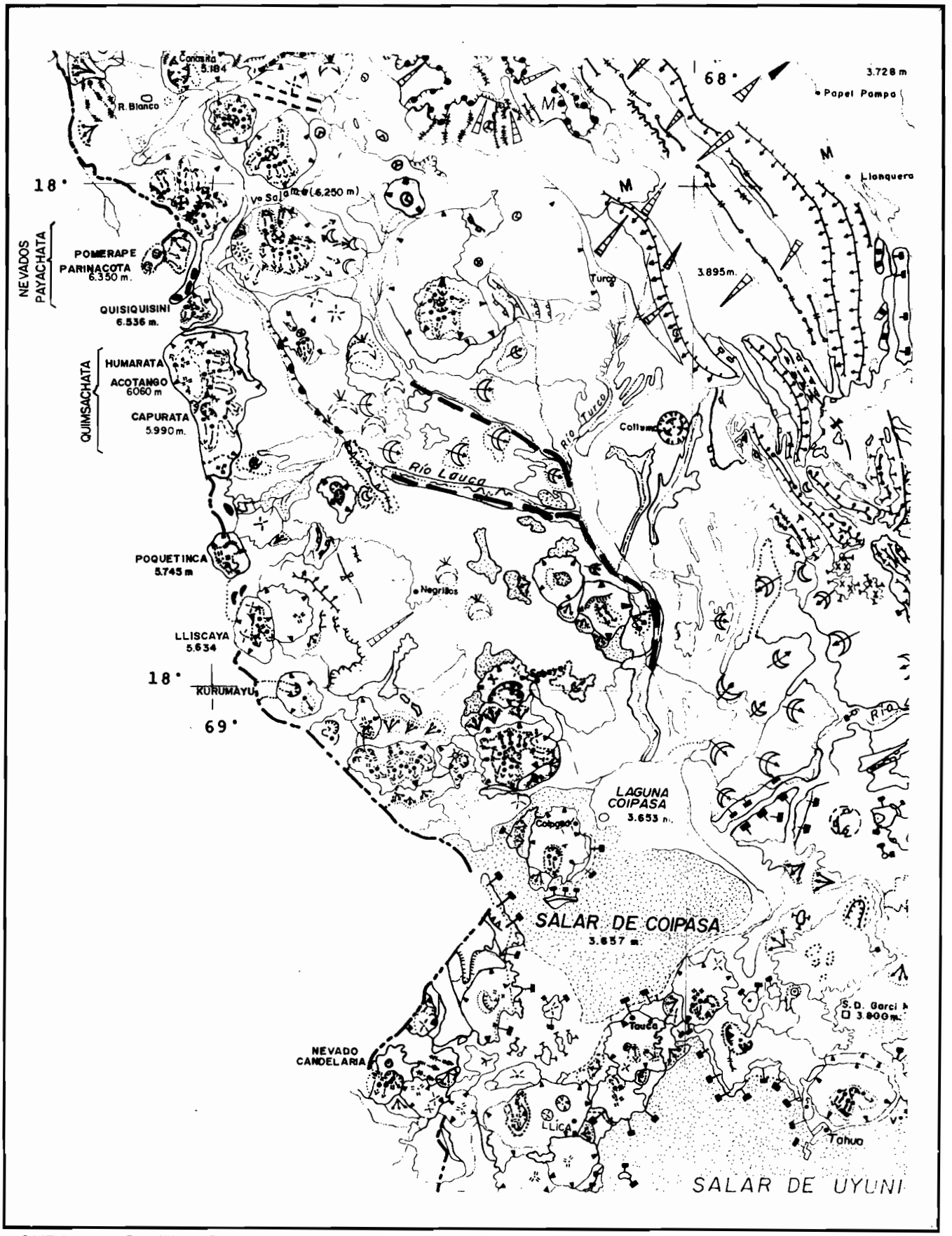


FIGURA 12.4 Cordillera Occidental de los Andes bolivianos - Mapa Geomorfológico - Escala 1:1000000 - Preparado por el autor en base a imágenes de satélite. La simbología utilizada, se halla descrita en el Anexo 3.

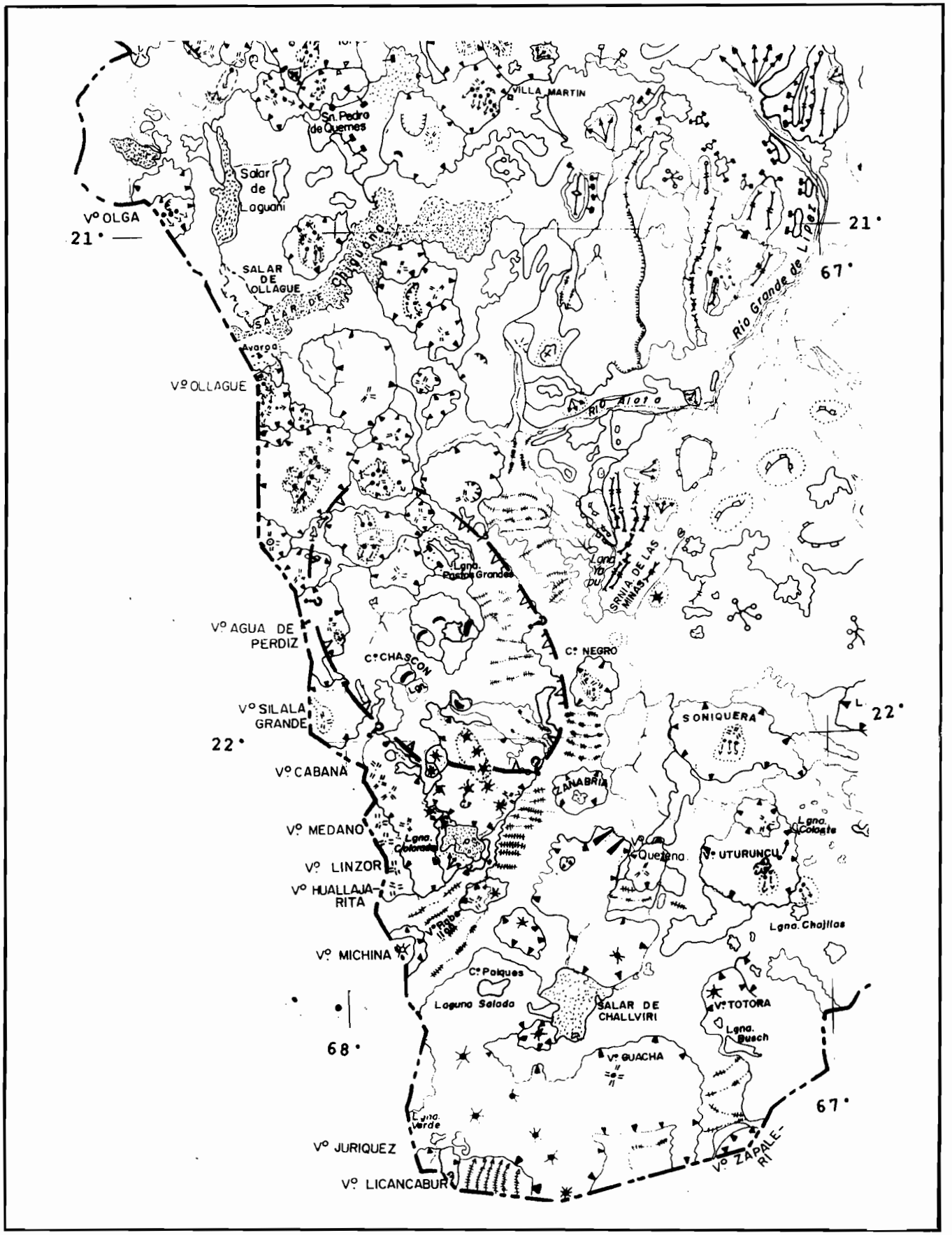


FIGURA 12.5 Cordillera Occidental de los Andes bolivianos - Mapa Geomorfológico - Escala 1:1000000 - Preparado por el autor en base a imágenes de satélite. La simbología utilizada, se halla descrito en el Anexo 3.

Características fotogeológicas de las principales estructuras volcánicas menores

Conos Piroclásticos

Como su nombre lo indica, son conos construidos principalmente con material piroclástico eyectado y se caracterizan por tener laderas empinadas en la parte superior del cono. Este tipo de conos, recibe diferentes nombres de acuerdo al tipo de material piroclástico que predomine en el cono. Los más comunes son los **conos de cinder y el de ceniza.**

Cono de cinder Se halla constituido por fragmentos piroclásticos vesiculares y vitreos de diámetros entre 40 y 64 mm. conocidos comunmente con el nombre de cinder. (Modelos estereoscópicos 11 y 114)

Las características más importantes de los conos de cinder son las siguientes:

1) Laderas muy empinadas; con ángulos que varían entre 26^{o} y 30^{o}. (Modelo estereoscópico 11)

2) Debido al carácter suelto, poroso y textura gruesa, de este material piroclástico, las laderas de los conos de cinder por lo general carecen de lineas de drenaje.

3) Los cráteres son generalmente profundos

5) La lava que es emitida por un cono piroclástico o de cinder, no es lo suficiente como para cubrir áreas extensas, solo pequeñas lenguas de lava son emitidas por estos conos.

6) Generalmente se presentan en grupos.

7) En altura no sobrepasan los 300 metros. De acuerdo a las características de la erupción, el crecimiento de estos volcanes puede ser muy rapido, de manera que en pocos meses, pueden alcanzar elevaciones superiores a los 200 metros.

8) Los conos de cinder, también pueden desarrollarse en los pisos de calderas y cráteres de dimensiones mayores.

Conos de ceniza Son conos constituidos principalmente por ceniza volcánica.

A diferencia de los conos de cinder, por la textura fina de las cenizas, las laderas de este tipo de conos volcánicos, desarrollan un buen drenaje, que corresponde a un diseño radial.

Los conos de ceniza, por lo general no superan a los 1000 m de altura.

Conos de salpicadura Cuando las erupciones son menos explosivas o existe un aumento en la fluidez o suceden ambas, los conos de cinder pueden pasar en forma gradual a conos de salpicadura, que en la literatura americana corresponde al término spatter cone.

El término **spatter** es utilizado para referirse a un tipo especial de bombas, con diámetros mayores a 64 mm. que luego de ser eyectadas, y volar en el aire a alturas moderadas, no se solidifican y llegan a la superficie en estado liquido, adquiriendo una forma parecida a la de una rosca irregular.

La caida continua de este material, en estado fluido y en forma de lluvia, sobre la superficie, alrededor del conducto, dá lugar a la acumulación de estos fragmentos plasticos, aplanados, con sus bordes fusionados entre sí, son denominados SPATTER y a la forma cónica que adquiere, recibe el nombre de cono de salpicadura o spatter cone.

Este tipo de conos, se caracterizan por su reducido tamaño, que por lo general no sobrepasan los 30 m. La altura promedio es de 10 a 15 m. Las laderas de estos conos, son más empinadas que las de los conos de cinder. Esto se debe a que el material que constituye estos conos son soldados y sus pendientes no dependen del ángulo de reposo, como en el caso de los conos de cinder, en los cuales los fragmentos sueltos construyen sus laderas en función del ángulo de reposo.

Las paredes del cráter de estos pequeños volcanes, son más empinadas y más estables que las de los conos de cinder, debido a las mismas razones expuestas en el parrafo anterior.

A pesar del tamaño reducido de estas formas, es posible identificarlas en las fotografías aéreas, debido su ubicación a lo largo de zonas de fractura, mostrando una alineación de estas formas.

Por la fluidez de este magma, este tipo de conos, se hallan más asociadas con lavas de composición basáltica.

Hornitos Son pequeños conos de lava, de paredes empinadas, casi verticales, formados sobre la superficie de flujos de lavas, debido al escape de grandes burbujas plásticas de lava que se hallan demasiadas frias para fluir, las que a través de una salida como grietas o fisuras, ubicadas en las partes más abombadas de la superficie de la lava, empiezan a construir este tipo de cono volcánico, que para algunos autores correspondería a una variedad de los driblet cones. En tamaño no superan a los 5 metros.

Túmulos tambien llamados ampollas de lava, son colinas alargadas de formas dómicas, con longitudes que varian entre 7 a 20 metros y alturas entre 1.5 a 3 metros. En algunos presentan una fractura abierta y paralela al eje mayor de la colina, la cual puede emitir lava viscosa. (Modelo estereoscópico 11)

Características fotogeológicas de las principales estructuras volcánicas mayores . En este grupo se hallan todas aquellas formas volcánicas, que son el resultado de la acción repetida de varias erupciones, que pueden ocurrir a través del mismo conducto ó en áreas próximas a la misma.

Conos de Lava

Se denominan también **volcanes en escudo** y se hallan constituidos principalmente por lavas muy fluidas en el momento de la erupción. Corresponde a los tipos de erupción Hawaiano y Estromboliano.

Son conos amplios, anchos y casi planos, con laderas de ángulos entre 2^{o} y 10^{o} de inclinación, de manera que el perfil que muestra este cono, es demásiado suave, que apenas puede ser perceptible con el relieve que le circunda.

Las dimensiones de estos conos, varian de acuerdo al número de erupciones que dieron lugar a su formación y al modo de erupción. Los diámetros por lo general varían entre 50 y 80 kilómetros.

Otra caracteristica de estos conos, es la presencia de grandes cráteres, depresiones y calderas de colapso, que se caracterizan por sus formas bien redondeadas.

Generalmente se hallan compuestas por lavas basálticas.

Conos Compuestos

Este nombre es utilizado para referirse a aquellos conos de dimensiones muy grandes y cuya formación es compleja y producto de varias erupciones, con emisión de lavas y piroclastos de diferentes composiciónes, en la que la sobreposición de estructuras volcánicas es la principal característica. Como ejemplo de este tipo de volcanes, se puede nombrar a los nevados Payachatas, cuya principal estructura volcánica es el Volcan Parinacota, ubicado en el limite entre Bolivia y Chile. Otro modelo es el volcán Sajama,ubicado en territorio boliviano al Este de los nevados Payachata (Figura 12.4).

Algunos autores prefieren utilizar el término **volcanes múltiples** cuando se refieren a este tipo de volcanes. Los tipos de erupciones que pueden participar en la construcción de estos volcanes, pueden ser del tipo Vulcaniano, Estromboliano y Peleano. De igual manera los flujos de lava pueden ser del tipo **Bloque y aa**.

El término **Estrato volcán** corresponde a aquellos volcanes compuestos, cuyo crecimiento se debe a númerosas erupciones en las que se observa una marcada alternancia entre lavas y piroclastos, emitidos por el mismo conducto, que son el producto de diferentes tipos de erupción, como el Peleano, Estromboliano y el Vulcaniano. La aparente estratificación que muestra este volcán debido a la alternancia de lavas y piroclastos, es la razón por la cual se le asigna el nombre de estrato volcán.

Este tipo de volcanes, constituye el grupo más numeroso y más distribuido a escala mundial. Las mayores dimensiones, alcanzan elevaciones que pueden sobrepasar los 3000 metros y diámetros superiores a los 25 kilómetros.

Las pendientes de estos conos volcánicos, por lo general son rectas y con valores entre 10^{o} y 35^{o} que gradualmente se va suavisando hacia la base del cono, hasta ponerse casí horizontal (Modelos estereoscópicos 51, 54)

En algunos casos los conos volcánicos recientes conservan sus cráteres. (Modelo estereoscópico 52) y además es posible apreciar las **coladas de lava**, que provienen de dichos cráteres. Estas coladas de lavas emitidas tanto por los conos compuestos, como los de cinder, los adventicios y otros es rara vez suficiente, como para cubrir áreas muy extensas.

En algunos casos cuando estas coladas de lava se encajonan en un valle, adoptan la forma de lengua de lava, que bloquean y modifican el sistema de drenaje existente.

Generalmente adquieren una apariencia lobular, debido a la forma del derrame; que generalmente sigue la pendiente; que sirve como guía para ubicar el centro de erupción. (Modelos estereoscópicos 51, 53 y 11)

La superficie de estas lavas generalmente muestra una apariencia rugosa o áspera. (Modelos estereoscópicos 51, 53 y 11)

Cuando los conos volcánicos, han sido muy atacados por los efectos de la erosión fluvial, eólica, glaciación, etc, la forma del cono es desmantelada, llegando solo a observar el esqueleto

volcánico, en el que a veces es posible apreciar la roca volcánica solidificada del conducto o chimenea del volcán. (Modelos estereoscópicos 54 y 107)

Algunos de estos volcanes, además de hallarse constituidos por un conducto principal central, pueden tener otros conductos secundarios laterales, que dan lugar al desarrollo de conos muy pequeños, que pueden ser de ceniza, lavas, de cinder u otro material piroclástico, que genéricamente son denominados **Conos Adventicios o Parásitos**. (Modelo estereoscópico 53)

Domos Volcánicos

Se trata de una forma volcánica, caracterizada por la acumulación de lava muy densa alrededor del conducto, la cual se vá apilando, porque no pudo fluir en el momento de la erupción, debido a su alta viscosidad. Desarrolla laderas empinadas, adquiriendo una forma dómica, razón por la que son denominados domos volcánicos, domos bulbosos, cúmulo domos o toloides.

Las lavas generalmente son del tipo riolítico o andesítico.

Los domos volcánicos pueden también formarse en el crater de un volcán preexistente.

La mayoría de los domos, son más anchos que altos, los más desarrollados no superan los 600 m de altura y de diámetros que llegan a los 1000 m. Generalmente muestran en su tope unas salientes en forma de agujas, con paredes verticales, abruptas, que sobresalen en la forma dómica, alcanzando alturas que pueden sobrepasar los 50 metros, antes de desintegrarse. Esta forma se denomina **Espina volcánica**. Existen muy pocas espinas que llegaron a alcanzar alturas aproximadas a los 300 m. como la del Monte Pele en 1903.

Por el modo de formación de un domo, algunos autores clasifican a los domos en **domos endógenos y domos exógenos**. Los primeros son de dimensiones mayores a los segundos, se caracterizan por que se forman por expansión desde el interior. En un corte vertical, se puede apreciar una estructura muy similar a la de un abánico, que se abre en su flujo desde el conducto hacia afuera en forma radial. La base de las laderas del domo, generalmente se halla flanqueada por material brechosos, producto de la desintegración por fracturación de la corteza o superficie externa del domo, que le confiere una forma cónica, pero muy diferente a la de un verdadero cono volcánico.

Los domos exogenos por el contrario, se forman por el flujo repetido de lava viscosa y piroclastos que proviene del conducto. Sus dimensiones son mucho más pequeñas que el otro tipo de domo. (Figura 12.6)

La identificación de domos volcánicos en las fotografías aéreas, puede presentar algunas dificultades, cuando se trata de domos que han sido muy erodados. En esas condiciones puede ser confundido con pequeños cuerpos intrusivos como stocks, y en otros casos a pesar de observar la anomalia geomórfica que produce en el relieve, no pueden ser reconocidos fácilmente. En esos casos necesariamente se requiere de criterios de campo y petrográficos. Los modelos estereoscópicos 15, 79 y podrían corresponder a este tipo de estructuras.

En la exploración y prospección de yacimientos minerales epitermales, asociados con oro, la identificación de domos y los diferentes tipos de lavas y piroclastos, constituyen una guia muy importante para este propósito.

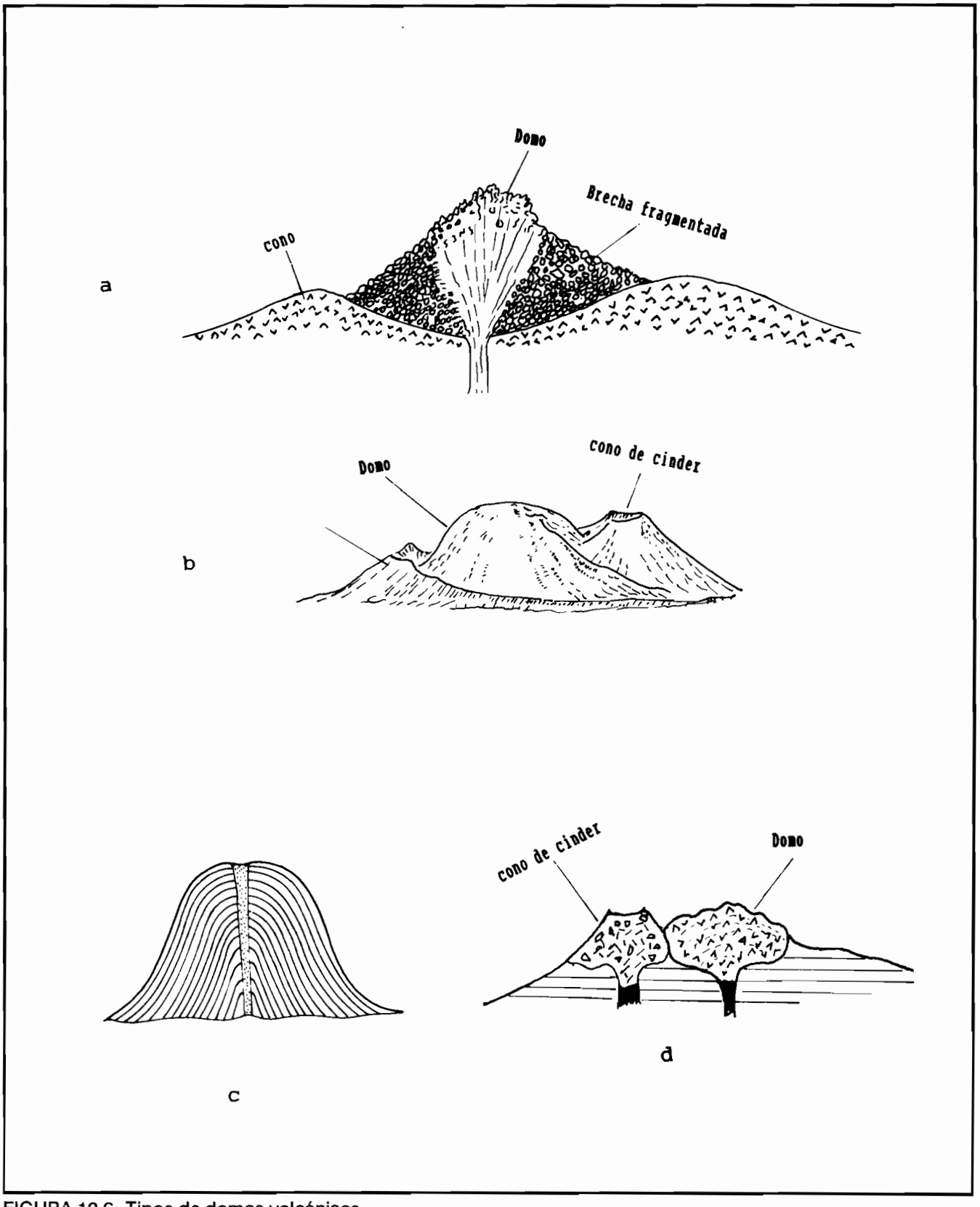


FIGURA 12.6 Tipos de domos volcánicos.
a) Domo volcánico endógeno (según Macdonald 1972)
b) Domo volcánico exógeno (según Scrope 1858)
c) Corte esquemático de un domo exógeno (según Scrope 1858)
d) Asociación de domos con otras estructuras volcánicas (según Scrope 1858)

Mesetas y Llanuras de Lava

Cuando los derrames de lava cubren áreas extensas, y si la superficie sobre la que corren, es un terreno horizontal, y llano, la forma que desarrolla esta superficie se denomina **llanura de lava**

Generalmente, este tipo de forma, se halla asociada con erupciones tranquilas a través de fisuras, con lavas de alta fluides, de composición básica, que llegan a cubrir áreas muy extensas, que pueden llegar hasta el orden de los 150000 Km^2.

Muy comunes son las llanuras de basalto en muchas regiones del mundo.

Cuando, se produce derrames de lava u otro tipo de erupción de materiales como piroclastos, tobas soldadas, ignimbritas, etc, ya sea a través de fisuras o conductos, sobre un relieve muy irregular y elevado, el cual es cubierto en su totalidad por estos derrames de lava, llega a nivelarse y adquiere un relieve casi horizontal, que luego es fuertemente disectado, con el desarrollo de cañones, gargantas y valles profundos, que en conjunto recibe el nombre de **Meseta de lavas**.

Tanto las llanuras como las mesetas de lava se caracterizan por ser cuerpos tabulares delgados en comparación con su extensión horizontal.

En territorio boliviano, las meseta de mayor desarrollo corresponden a las ubicadas en la región de los Frailes, Morococala y los Lipez. (Figura 12.7) cuyas áreas aproximadamente corresponden a 12000, 1700 y 15000 Km^2.

Entre los criterios fotogeológicos utilizados para la identificación de esta estructura volcánica, se hallan los siguientes:

Expresión morfológica

1) El criterio principal para la identificación de las mesetas de lava es su expresión morfológica, casi horizontal, disectada por cañones o valles profundos. En los cortes de los ríos y cañones, se desarrollan escarpes muy marcados.

   Sin embargo, la indicada expresión morfológica de esta superficie, puede presentar variaciones ligeras en su relieve, en función del tipo y características de las lavas y piroclastos que constituyen estas mesetas, tales como la composición, espesor, textura, estructura, diaclasamiento, modo de construcción de la meseta en base al tipo de erupción, fisuras o combinación de erupción por fisuras con erupciones centrales, etc

   Por ello, a pesar de considerar que el relieve de una meseta debe ser casi horizontal, es posible observar variaciones en ese modelo, que puede variar desde un relieve muy horizontal a uno más ondulado, con desarrollo de un drenaje que puede estar o no ajustado al diaclasamiento. Los modelos estereoscópicos 105, 106, 54, 45, 44 y 11 corresponden a los diferentes modelos de las mesetas de los Lipez, Morococala y Los Frailes, ubicados en territorio boliviano

Textura fotográfica

2) Generalmente el aspecto que presenta la superficie de un meseta, es áspera, rugosa y corrugada, que también puede variar de acuerdo a la composición y textura de las lavas y piroclastos.

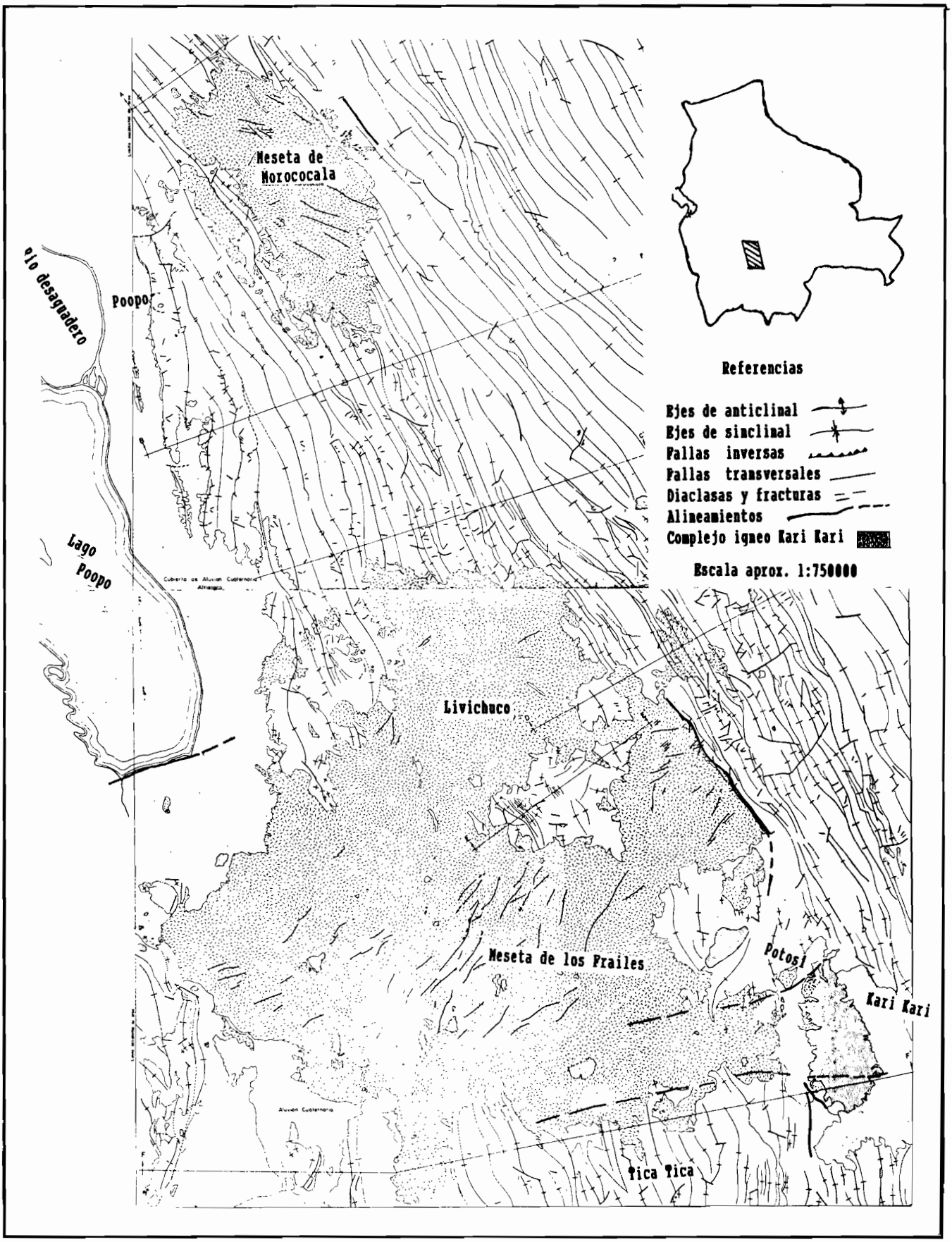


FIGURA 12.7 Mesetas de los Frailes y Morococala, ubicadas en la parte Central de los Andes Bolivianos.

Lavas de composición acida presentan un aspecto más áspero, rugoso y corrugado, que lavas de composición básica. (Modelos estereoscópicos 11, 44, 45, 54, 105 y 106)

Tono fotográfico

3) Es muy común que las mesetas se registren en tonos fotográficos casi uniformes, los que se hallan en función de su composición predominante, de manera que las de composición básica se registrarán en tonos más oscuros que las de composición ácida. (Modelo estereoscópico 101)

Sin embargo, como ya se indicó anteriormente, los tonos no son definitivos, ya que ellos pueden ser modificados a tonos muy claros o blancos, cuando las lavas sufren efectos de alteración hidrotermal o meteorización. En otros casos, pueden también modificarse a tonos muy oscuros, especialmente si las rocas son cubiertas por una pátina o pelicula de oxidos de hierro, que en el desierto se llama barniz del desierto.

La modificación de los tonos originales de gris de las lavas a tonos blancos o claros con formas irregulares, es otra importante guía en la prospección de yacimientos minerales, ya que dichos tonos pueden deberse a la alteración hidrotermal. En este caso, el uso de **fotografías aéreas a color** y el de imágenes de satélite usando combinación de bandas, constituyen la mejor herramienta, para la identificación de estas zonas de alteración hidrotermal en lavas, ya que en este tipo de fotografías e imágenes de satélite, el registro de estas anomalias tonales, es muy marcado y por lo tanto de fácil reconocimiento cuando se realiza la interpretación fotogeológica o el análisis digital.

Diseño de drenaje

4) El drenaje es otro criterio, que puede ayudar a la identificación de mesetas, especialmente si ellas se hallan muy diaclasadas. En ese caso el diseño de drenaje es el rectangular. (Modelo estereoscópico 105)

5) Cuando los piroclastos de textura fina y muy fina cubren extensas áreas, pueden desarrollar un diseño de drenaje dendrítico de alta densidad, similar al de las rocas arcillosas.

Otras características

6) Otro tipo de lavas fuera de las basálticas que pueden fluir sobre áreas extensas, para construir mesetas, son los flujos de tobas soldádas o ignimbritas que pueden ser riolíticas a andesíticas, que se producen por una marcada actividad explosiva, relacionada con flujos de alta densidad, de mezclas incandescentes de cenizas y gases. Esta nubes ardientes, emitidas por los volcanes, debido a su mezcla de ceniza caliente y gas, permite que ellas fluyan en la superficie a grandes velocidades y luego se vayan solidificando para formar ignimbritas, que en su superficie muestra una profundas acanalamientos, paralelos con la dirección del flujo, formando mesetas muy características, como en la Cordillera Occidental de los Andes, región de Los Lipez en el Sur Oeste de Bolivia. (Modelo estereoscópico 105)

7) Las lavas ácidas, riolíticas ocupan extensiones más reducidas, generalmente se hallan asociadas con conos de salpicadura (Spatter cones) , domos volcánicos, estratos volcanes, calderas, pueden desarrollar mesetas muy reducidas en extensión, sobre las que que se puede apreciar los puntos de emisión, lineas de flujo. La superficie muestra una apariencia

muy áspera, rugosa, corrugada, un relieve ondulado, los bordes de la meseta son escarpados, con poco desarrollo de drenaje. (Modelo estereoscópico 11)

8) Las mesetas con lavas andesíticas, presentan características intermedias entre las de las lavas riolíticas y las basálticas.

Depresiones Volcánicas

Las depresiones volcánicas, corresponden al grupo de aquellas formas volcánicas negativas, cuyo desarrollo se debe a diferentes causas.

Entre las formas más características de este grupo se hallan las siguientes:

a) Cráteres

b) Calderas

c) Depresiónes tectónico-volcánicas

Cráteres Se denominan así, a aquellas depresiones de forma circular, de tamaños pequeños a moderados, ubicados en la cima de los diferentes conos volcánicos incluyendo los domos volcánicos. (Modelos estereoscópicos 51, 52, 53 y 11)

Los cráteres pueden producirse por la acción explosiva del volcán, o por colapso, debido al hundimiento de la parte superior del volcán.

En el caso de los cráteres debido a la acción explosiva de los volcanes, generalmente sus dimensiones no sobrepasan de los 200 a 300 metros, que puede corresponder al diámetro del conducto principal del volcán. El piso del cráter, se rellena con material piroclástico que proviene de la explosión que cae en el cráter. De igual manera las paredes del cráter se hallan constituidas por lavas y piroclástos interestratificados.

Un criterio utilizado para identificar cráteres de desplome en la fotografía aérea, es la ausencia de fragmentos caidos al pie de los bordes de las paredes del cráter, o si los hay la cantidad es mínima comparada con el volumen del cráter.

Los cráteres de volcanes ináctivos, por lo general son ocupados por **lagos**. En algunas regiones volcánicas, se han encontrado cráteres, que pueden corresponder a conos volcánicos que han detenido su crecimiento a pesar de la acción explosiva. Cuando estos cráteres,desprovistos de conos, contienen lagos de dimensiones menores a los 600 m de diámetro, reciben el nombre de **Maars**,

Es muy probable que este tipo de lagos, seán la expresión superficial de las **Diatremas.** (Las diatremas, son brechas volcánicas constituidas por una mezcla de bloques grandes unidos por un matrix fino, que provienen de la pared de la chimenea o cuello volcánico, resultante de la erupción explosiva).

Calderas Cuando las dimensiones de un cráter tienen diámetros mayores a los 1.600 m, que sobrepasa varias veces el diámetro del conducto volcánico principal, recibe el nombre de Caldera.

Ellas pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

a) Calderas de Explosión

b) Calderas de Hundimiento

c) Calderas debidas al efecto combinado de explosión y hundimiento

Las calderas de explosión, como su nombre lo indica, se producen por explosiones violentas, que pueden ser repetidas, provocando la destrucción de la cima y las paredes laterales del cono, desarrollando depresiones circulares, limitadas por paredes verticales con alturas que sobrepasan al centenar de metros.

Las calderas de hundimiento o de colapso, se producen cuando la estructura volcánica queda sin soporte, debido a que el nivel del magma en la cámara principal puede bajar. Ello provoca, que gran parte de la estructura volcánica se desplome, desarrollando una caldera de dimensiones apreciables, sobre la que puede renovarse la actividad volcánica, acompañada con el crecimiento de conos de cinder, de ceniza en el piso de la caldera.

Las calderas por explosión y colapso, parecen ser las más comunes y en la actualidad este tipo de calderas, es considerada por muchos investigadores como el modelo tipo para explicar el origen de la mayoría de calderas de edad reciente, que se han identificado en los Andes Occidentales. (Faja volcánica entre Chile, Bolivia y la Argentina.

Un tipo especial de caldera es la denominada **Caldera por subsidencia o hundimiento en caldera**. Se caracteriza por un ser un bloque de forma casi circular, que se hunde en una cámara magmática y provoca el surgimiento del magma a través de fracturas laterales casi verticales desarrollando diques anulares, acompañada generalmente por la resurgencia de la caldera. Este tipo de estructuras son muy importantes, constituyen guias morfológicas muy importantes para la prospección de yacimientos minerales, en especial los relacionados con yacimientos epitermales de oro y plata, ya que las calderas pueden constituir ambientes estructurales favorables para la circulación de soluciones mineralizantes, tales como fracturas anulares, fallas radiales de gran ángulo y longitudinales asociadas con la formación de calderas resurgentes y domos. (Según algunos investigadores, un modelo de este tipo, podría corresponder al complejo volcánico de Kari Kari y el Domo del Cerro Rico de Potosí, (Fotos 1.3, 13.1, Figuras 12.7 y 13.23).

Depresiones tectónicas-volcánicas Corresponden al grupo de fosas tectónicas amplias y superficiales, que son el producto de fallas normales, desarrolladas sobre las crestas de amplios arcos de rocas volcánicas, despues de la erupción de grandes volúmenes de lavas, por ejemplo ignimbritas. Generalmente este tipo de fosas tectónico-volcánicas se hallan asociadas con grandes volúmenes de flujos de lavas riolíticas a dacíticas, que son derramadas a través de fisuras, por las crestas de los arcos o por las fallas que limitan las fosas. De igual manera se hallan una serie de conos compuestos, estrato volcanes, etc, alineados a lo largo de las indicadas depresiones.

Tapones y cuellos volcánicos Los conductos principales de conos volcánicos ináctivos, son rellenados por masas de forma cilíndrica constituidas por magma solidificado, lava o material piroclástico, que generalmente es conocido por el nombre de tapón volcánico. Cuando el tapon es más resistente a la erosión, que la roca encajonante, y el volcán ha sido intensamente erosionado, ellos sobresalen en el relieve en forma de columnas o pilares, denominandose en este caso **cuello volcánico**.

Esto significa, que entre los términos tapón y cuello volcánico, no existe diferencia, por lo que el uso de ambos términos es indiferente. Otros autores utilizan el término **chimenea** como sinónimo de los anteriores.

Muchos tapones o cuellos volcánicos se hallan constituidos parcialmente por fragmentos de rocas volcánicas y fragmentos de las paredes del conducto, que pueden ser de cualquier tipo de roca, constituyendo una brecha volcánica con fragmentos de bloques grandes en un material de textura fina a muy fina.

Las brechas volcánicas de los cuellos volcánicos o tapones volcánicos, que son el producto de la acción explosiva se llaman también **Diatremas.**

En las fotografías aéreas, los cuellos volcánicos pueden ser identificados, por su forma casi cilindrica y cuando su diámetro es mayor a los 150 metros, de manera que su expresión morfológica en el relieve y su relación con otras rocas, pueda ser apreciada a escala mayores a 1:20000. (Modelo estereoscópico 40)

12.2 CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS DE LAS ROCAS METAMORFICAS

Las rocas que en el interior de la corteza terrestre, por la acción de la temperatura, presión y los fluidos y gases, han sufrido modificaciones en su composición química, características texturales, estructurales, en su carácter mineralógico, dan lugar a la formación de nuevas rocas con características diferentes de las que provienen, han sido denominadas rocas metamórficas.

Sin embargo es importante dejar establecido que a pesar de las modificaciones ocurridas en las rocas metamórficas, ellas conservan algunas características primarias de las rocas de las cuales se originaron.

Por esta razón, la identificación e interpretación de las rocas metamórficas, en la fotografía aérea, es muy dificultosa, ya que las características fotogeológicas tanto de las rocas ígneas y sedimentarias de las cuales provienen, pueden perdurar en estas rocas, de manera que al realizar la interpretación fotográfica, ellas pueden ser confundidas con las indicadas rocas.

Por ello, en algunos casos, la expresión morfológica de estas rocas puede tener un aspecto macizo, que dificulta su diferenciación con las rocas ígneas intrusivas. En otros casos, sí el metamorfismo no es muy intenso, presentan un aspecto muy parecido al de las rocas sedimentarias, conservando aún algunas características originales.

Los tipos más importantes de metamorfismo son el metamorfismo de contacto y el metamorfismo regional.

- El metamorfismo de Contacto se produce en la proximidad de cuerpos ígneos intrusivos, y solo afecta a la zona alrededor de la intrusión, razón por la cual este tipo de metamorfismo es de extensión local, desarrollan aureolas de metamórfismo, que pueden ser divididas en diferentes zonas concéntricas, que no pasan del kilómetro de ancho. Cuando las temperaturas son muy altas, el metamorfismo de contacto es denominado Pirometamorfismo.

- El metamorfismo regional, se produce por un suministro regional enorme de calor, que actua en forma conjunta con fuerzas de deformación.

Las presiones que actuan son muy altas, con temperaturas que pueden llegar hasta los 800°C. Generalmente las presiones se mantienen casi constantes, pero las fluctuaciones de las temperaturas son marcadas, por lo que es posible en base a los valores de temperatura, definir el

progreso del metamorfismo, en otras palabras es posible establecer zonas de temperatura, que define al mismo tiempo un grupo de minerales característicos para cada una de las diferentes zonas de metamorfismo.

El metamorfismo regional se halla relacionado con grandes fajas orogénicas, asociadas con fajas metamórficas que pueden tener de cientos a miles de kilómetros de largo con anchos entre decenas a cientos de metros.

Este tipo de metamorfismo, desarrolla estructuras penetrativas como esquistosidad, que no ocurre con el metamorfismo de contacto.

A continuación se intenta dar algunos criterios fotogeológicos para identificar las principales rocas metamórficas:

Las fotografías aéreas pueden ser de gran ayuda en áreas de metamorfismo regional, especialmente cuando se trata de determinar el rumbo general de la estratificación original de los metasedimentos. Por lo tanto, las fotografías aéreas dan más información sobre la estratificación que sobre la esquistosidad o foliación en áreas de metasedimentos.

El diaclasamiento en las rocas metamórficas, a diferencia de los otros tipos de roca, se caracterizan por presentar una orientación en una sòla dirección, que en la fotografía aérea muestran un subparalelismo.

Rocas gneisicas

El gneis es una roca de grano grueso, cuya esquistosidad no es muy marcada, generalmente son de colores claros, ricas en feldespatos y cuarzo, pueden provenir del metamorfismo de rocas ígneas y sedimentarias. Cuando el gneis deriva de rocas ígneas se llaman Ortogneis y Paragneis si deriva de rocas sedimentarias.

Entre las características que puede observarse en las fotografías aéreas se hallan las siguientes:

1) Serranias subparalelas con laderas empinadas y crestas agudas, cuando derivan de areniscas.

   Formas más suaves que redondeadas e irregulares cuando provienen de lutitas, margas,etc. Estas formas son muy similares a las dejadas por ortogneiss derivadas de granitos.

   Cuando derivan de granitos, las formas son redondeadas, ocupan el relieve más alto, y de fuerte expresión morfológica, llegando a desarrollar un relieve montañoso.

2) El diseño de drenaje que se desarrolla, se halla en función de la roca que proviene. Si se trata de ortogneis, el diseño de drenaje será dendrítico, con tendencia al desarrollo de la variedad tenaza, en la que los ríos adoptan diseños individuales curvilineos, pero en menor intensidad que en los granitos. La densidad de drenaje es media. (Modelo estereoscópico 109)

   En el caso de paragneis el diseño es dendrítico, de densidad media a alta.

3) Tonos claros son más comunes

4) Los suelos que se desarrollan sobre estas rocas son arcillosos, a diferencia de los arenosos que desarrollan los granitos.

Esquistos

Este tipo de roca es muy laminada, de textura más gruesa que las filitas. (Modelo estereoscópico 108)

1) El aspecto morfológico depende del espesor que tenga la cubierta del suelo. Cuando la cubierta de suelos es delgada, los esquistos desarrollan formas diferentes que en regiones donde la cubierta es muy gruesa.

2) Cuando no existe cubierta de suelos la identificación de esquistos se hace más sencilla, por la relativa facilidad en la identificación del bandeamiento y la foliación de esta roca.

3) Por efecto de la erosión y el control de la estratificación desarrolla una serie de serranias bajas y paralelas con valles superficiales. En algunos casos las serranias forman crestas muy agudas en forma de cuchillas.

4) En regiones húmedas, las formas de estas serranias o lomadas son más suaves y redondeadas con laderas empinadas.

5) El diseño de drenaje es básicamente dendrítico, de densidad media a alta. Forman valles en forma de U. En algunos casos es similar al drenaje desarrollado en las lutitas.

6) Por las características de esta roca, las fallas son de facil identificación en las fotografías aéreas, que desarrollan alineamientos muy marcados.

7) Se registran en tonos fotográficos gris a gris oscuros.

Pizarras

Corresponde al tipo de metamorfismo más bajo, en rocas de grano fino, se caracteriza por una esquistosidad planar bien definida, pero sin foliación. Si el metamorfismo aumenta, pasan a filitas.

1) Colinas de tamaño comparativamente pequeño, uniformes, orientados al azar, de igual altura, que dan un diseño especial en la foto aérea. Generalmente, ocupan el relieve más bajo en áreas donde afloran otros tipos de rocas metamórficas

2) El diseño de drenaje es dendrítico, de alta densidad, muy parecido al de las lutitas. Si estas rocas se hallan plegadas, o afectadas por fracturas, fallas o diaclasamiento, el drenaje puede ajustarse a ellas, desarrollando un drenaje dendrítico modificado tipo subdendrítico angular.

3) Al igual que en las rocas arcillosas, de las cuales proviene este tipo de roca, la identificación de fallas no es muy sencilla, por lo que debe acudirse al ánalisis del drenaje para determinar la presencia de fallas.

4) Se registran en tonos fotográficos grises a gris oscuros.

Cuarcitas

Estas rocas muestran una marcada uniformidad en todas sus características morfológicas, que pueden ser fácilmente confundidas con las areniscas cuarzosas. Por ello es que las características fotogeológicas de las areniscas cuarzosas, son en cierto modo similares con las cuarcitas. El único criterio para su identificación y diferenciación con las indicadas rocas, es la asociación de las cuarcitas con rocas metamórficas, en terrenos también metamórficos, en los que generalmente se hallan alternando con esquistos y pizarras. (Modelo estereoscópico 109)

INFORMACION OBTENIDA MEDIANTE LA INTERPRETACION ESTRUCTURAL EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS

CAPITULO XIII

13.1 INTRODUCCION

Para obtener la información relacionada con las características estructurales de una región, mediante la interpretación de las fotografías aéreas, es necesario identificar los elementos estructurales, que permitan la diferenciación y clasificación de los varios tipos de pliegues, fallas, sistemas de diaclasamiento y discordancias, que luego son representados mediante símbolos fotogeológicos en un mapa, que comunmente es denominado Mapa Fotogeológico Preliminar, que es empleado en cualquier relevamiento geológico de campo. Por ello el primer elemento estructural, que debe ser identificado en las fotografías aéreas es el **Rumbo y Buzamiento** de las rocas sedimentarias en particular, que ayuda a definir la continuidad de los estratos y la litología correspondiente.

13.2 IDENTIFICACION DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LOS ESTRATOS EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS

La línea horizontal o traza de la intersección del plano de estratificación con un plano horizontal, define la dirección de la estratificación de un estrato, y corresponde al **Rumbo del estrato.** (Figura 13.1) que es el ángulo horizontal, medido con referencia al Norte Magnético, y corresponde a un ángulo azimutal, obtenido con una brújula.

El ángulo de máxima inclinación del plano de estratificación, es el **Buzamiento del estrato** y es perpendicular al rumbo de la estratificación. El ángulo vertical que se mide, es el ángulo comprendido entre un plano horizontal y el plano de estratificación (Figura 13.1)

Estos valores ángulares definen la orientación de los planos de estratificación, y permiten su representación en un mapa geológico.

En la fotografía aérea, la identificación del rumbo y buzamiento de los estratos, se la realiza acudiendo en primer instancia a los diseños de tonos bandeado y oval - amigdoidal, ampliamente discutidos en capitulos anteriores. (Modelos estereoscópicos 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30).

Luego de identificado el rumbo general de la estratificación, se procede a la identificación individual del buzamiento de los estratos, mediante un análisis detallado en las fotografías aéreas.

En áreas con afloramientos de alternancia de rocas muy resistentes y poco resistentes a la acción de la erosión diferencial, se desarrolla una expresión morfológica muy especial, que es de fácil identificación en la fotografía aérea, y se caracteriza por que en esas series sedimentarias, los planos de estratificación de las rocas duras y resistentes a la erosión, desarrollan caras triangulares, con buzamientos que coinciden con la pendiente del terreno, denominados Dip slopes, término que traducido correspondería al de Pendiente en sentido del buzamiento. Algunos investigadores utilizan el término Pendiente estructural. (Foto 13.1).

Cuando los dip slopes adquieren formas triangulares bien definidas y de tamaño muy grande, que semejan a la base de una plancha eléctrica, se las denomina Flat Iron

En base a la indicada característica, es posible aplicar dicho criterio, en la identificación de rumbos y buzamientos de estratos, en las fotografías aéreas. R. Ray (op.cit) utiliza este criterio, para establecer la Regla de las Vs, que así la denomina y la cual establece que la dirección del buzamiento de los estratos, es en dirección opuesta al vértice que forman las Vs o caras triángulares desarrolladas por los planos de estratificación de las rocas más duras y resistentes a la erosión. (Foto 13.1 y Modelos estereoscópicos 21, 20, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 46, 81, 84 y 103)

Por lo tanto la relación entre buzamiento y relieve, es formalizada por la regla de las Vs, de manera que la dirección de buzamiento puede ser estimada directamente del diseño del afloramiento de los estratos, del grado de inclinación que tengan los buzamientos y el grado de erosión de estas formas, que se observa en las fotografías aéreas.

De manera general, es posible realizar las siguientes consideraciones:

- Si los buzamientos de los estratos varian entre valores mayores a 10^{o} y menores a los 45^{o}, los triángulos de erosión se hallan perfectamente desarrollados, más aún si se trata de bancos de calizas. Los dip slopes o pendientes estructurales, en estas rocas constituyen los ejemplos más claros para visualizar este modelo de erosión. (Modelos estereoscópicos 20 y 21)

- Cuando los buzamientos son muy bajos, el modelo toma posición intermedia entre el diseño de tono oval - amigdoidal de los estratos horizontales y el de las Vs de erosión. (Modelos estereoscópicos 24 y 41).

- Cuando los buzamientos son altos a verticales, no es posible apreciar los anteriores modelos de erosión, ya que al tratarse de fotografías aéreas verticales, el registro fotográfico en este caso, solo estará en función de la traza de la intersección del plano de estratificación de los estratos con el relieve, que se traduce en alineaciónes que señalan solo el rumbo de la estratificación, y corresponde a un diseño de tono bandeado. (Modelos estereoscópicos 28, 30, 33, 39, 63, 73 y 101). En este caso la identificación de la dirección del buzamiento se la realiza utilizando criterios geomorfológicos, que serán discutidos posteriormente.

  Los triángulos de erosión, pueden variar en su forma debido tanto al estado y grado de erosión como a la dureza de la roca, de manera que ellos pueden modificarse, adoptando formas más redondeadas. En ese caso, la parte concava señala la dirección del buzamiento. (Figura 13.2 y modelos estereoscópicos 87, 93, 19 y 32)



FOTO 13.1 Desarrollo de Dip Slopes o pendientes estructurales, en bancos de arenisca. (Sub Andino Sur de Bolivia). El rumbo y buzamiento de los estratos puede ser determinado en base a la regla de las Vs. como se muestra en la Figura 13.1

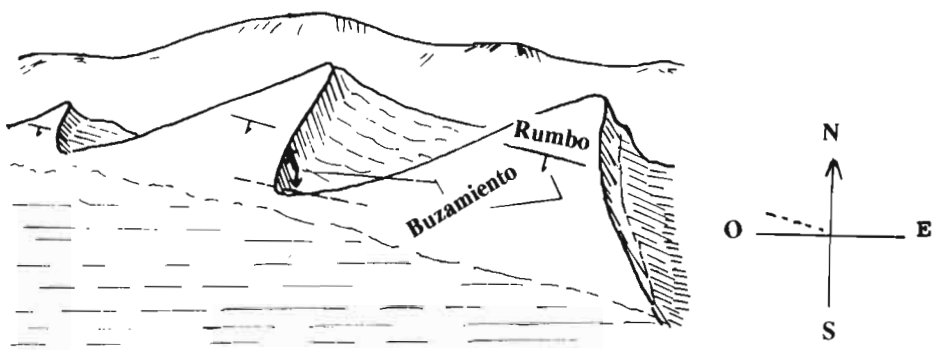


FIGURA 13.1 Esquema para representar el rumbo y buzamiento de los estratos, el desarrollo de Dip Slopes o pendientes estructurales y la Ley de las Vs.

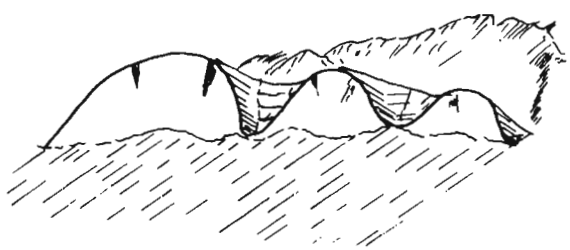


FIGURA 13.2 Modificación de los triángulos de erosión a formas más redondeadas en las que aún es posible aplicar la regla de las Vs.

- La identificación de estratos con buzamientos menores a 10^{o}, y la de estratos horizontales, es más sencilla que la de estratos inclinados, aunque la interpretación estructural es más complicada, debido a la posibilidad de cometer errores al tratar de definir el rumbo general de la estratificación. Para ello es necesario, realizar estudios de correlación con

zonas aledañas para lo cual se debe acudir al análisis de mayor número de fotografías aéreas o al estudio de fotomosaicos de la zona.

- La identificación de estratos volcados y por ende de estructuras volcadas, solo pueden ser reconocidas, utilizando criterios estratigráficos, relacionados con el conocimiento de la secuencia estratigráfica de la zona estudiada, que permite establecer la posición estratigráfica entre los estratos que se hallan por encima y debajo del estrato volcado.

  Otro criterio utilizado es el estructural. Para ello, se debe ubicar a lo largo del flanco donde se hallan los estratos volcados, la presencia del cierre de la estructura, ya que los cierres, son los unicos lugares de la estructura plegada, donde los estratos no pueden volcarse. (Figura 13.3, Modelos estereoscópicos 86, 40 y 29).

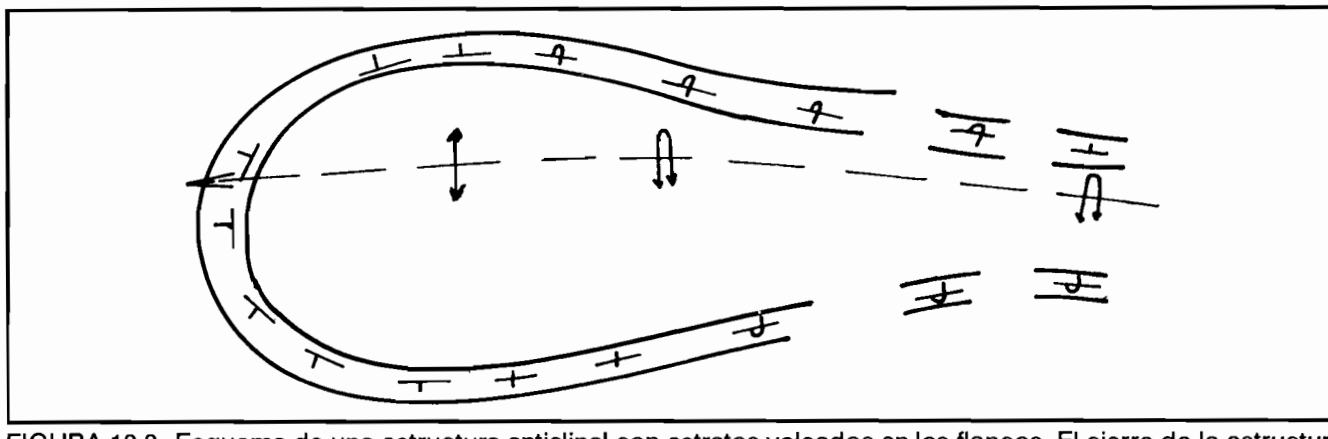


FIGURA 13.3 Esquema de una estructura anticlinal con estratos volcados en los flancos. El cierre de la estructura es el único lugar, donde el buzamiento de los estratos es normal.

- La identificación del rumbo y buzamiento en la fotografía aérea, en ciertos casos es dificultosa hasta imposible, especialmente cuando ellas presentan las siguientes características:

  - Cuando las rocas se hallan intensamente deformadas, fracturadas o falladas (Modelos estereoscópicos 91, 92, 65 y 70)

  - Cuando los efectos de la acción glaciar han sido intensos, los rumbos y buzamientos, generalmente se hallan enmascarados por la erosión y depósitos de glaciación. (Modelos estereoscópicos 4, 76, 77, 78 y 80)

  - Cuando se trata de rocas arcillosas homogeneas, que desarrollan un relieve muy uniforme. (Modelos estereoscópicos 17,1 8, 26, 49, 91 y 92.)

  - Cuando los estratos tienen buzamientos muy altos.

Cuando la identificación del rumbo y buzamiento, presenta dificultades, la expresión morfológica, que adoptan los estratos de acuerdo al valor del buzamiento, constituye un criterio que debe ser utilizado para este propósito, complementado con el diseño de tono oval - amigdoidal y el bandeado.

De acuerdo al valor del buzamiento que pueda tener una alternancia de rocas, cuando es sometida a la acción de la erosión, se desarrollan los siguientes paisajes:

Mesa

Paisaje de Cuesta,

Hogbacks

Mesa Este término, es utilizado para referirse a aquel paisaje asociado con estratos horizontales. (Figura 13.4.a)

Si los estratos se hallan constituidos por bancos homogeneos y muy resistentes a la erosión, como areniscas y calizas, forman superficies planas horizontales, cortadas por rios que desarrollan cañones y valles profundos. (Modelos estereoscópicos 24, 41). Con una alternancia de rocas más resistentes y menos resistentes a la erosión, se desarrolla un paisaje similar al anterior, aunque en este caso la diferencia entre un estrato resistente y menos resistente, se halla marcada por un quiebre en los taludes, de manera que caras verticales se desarrollarán en las rocas duras, mientras que en las otras, los taludes son inclinados y en este caso el diseño de tono es más marcado que el anterior.

Si las dimensiones de esta forma son muy grandes y de extensión regional, se denomina **Meseta estructural**, que generalmente se caracteriza por tener una superficie casi horizontal, definida por un solo tipo de roca, dura y resistente a la erosión, que actua como una capa protectora contra la acción de la erosión. (Figura 13.4.b)

Por el contrario, si las superficies son muy reducidas en extensión, se denominan **Butte**. (Figura 13.4.c)

Cuesta Este paisaje se caracteriza por el desarrollo de serranias paralelas que alternan con valles, que se hallan orientadas y controladas por el rumbo y buzamiento de la estratificación. (Figura 13.4.d)

Se desarrolla en estructuras homoclinales, constituidas por una alternancia de rocas, con buzamientos moderados que varian entre 10^{o} y 30^{o}, de resistencia variada a la erosión y meteorización, que da lugar al desarrollo de serranias paralelas, cuyas pendientes coinciden con el buzamiento de los estratos, que individualmente pueden formar dip slopes o pendientes estructurales.

El paisaje de cuesta puede desarrollarse tanto en llanuras de costa recientemente solevantadas, con alternancia de estratos resistentes y débiles a la erosión con buzamientos hacia el mar, como en los flancos de estructuras anticlinales y sinclinales o en estructuras dómicas antiguas, fuertemente disectadas.

Las serranías se hallan constituidas por escarpes verticales, que miran en dirección opuesta al buzamiento y por una pendiente muy suave que coincide con el buzamiento.

El escarpe se denomina **Escarpe de cuesta** y se utiliza como un criterio, para determinar en las fotografías aéreas el buzamiento de los estratos, ya que la dirección del buzamiento se halla orientada en dirección opuesta al escarpe de cuesta. (Modelos estereoscópicos 96, 103, 20 y 35).

Hogbacks Al igual que el paisaje de cuesta, se desarrolla cuando existe una alternancia entre estratos resistentes y debiles a la erosión, pero a diferencia del anterior paisaje los buzamientos son mayores a los 45^{o}. (Figura 13.4.e) Las serranias son más estrechas con crestas agudas y la diferencia entre el escarpe y la pendiente estructural, no es tan marcada, como en el caso del paisaje de cuesta, a pesar de ello, el escarpe puede ser utilizado como criterio para identificar la dirección del

buzamiento, que tambien se halla orientado en dirección opuesta a la del escarpe. (Modelos estereoscópicos 4, 33, 34, 36, 42, 101)

Serranias Homoclinales A pesar que los dos paisajes anteriormente descritos, son también serranias homoclinales, este término aunque no el más apropiado, es utilizado para referirse a aquellas serranias constituidas por buzamientos de valores intermedios entre los que corresponden al paisaje de cuesta y el de hogback. De igual manera que en los caso anteriores, los buzamientos pueden ser determinados, utilizando los mismos criterios que en los casos anteriores. (Modelos estereoscópicos 20, 21, 25, 32 y Figura 13.4f)

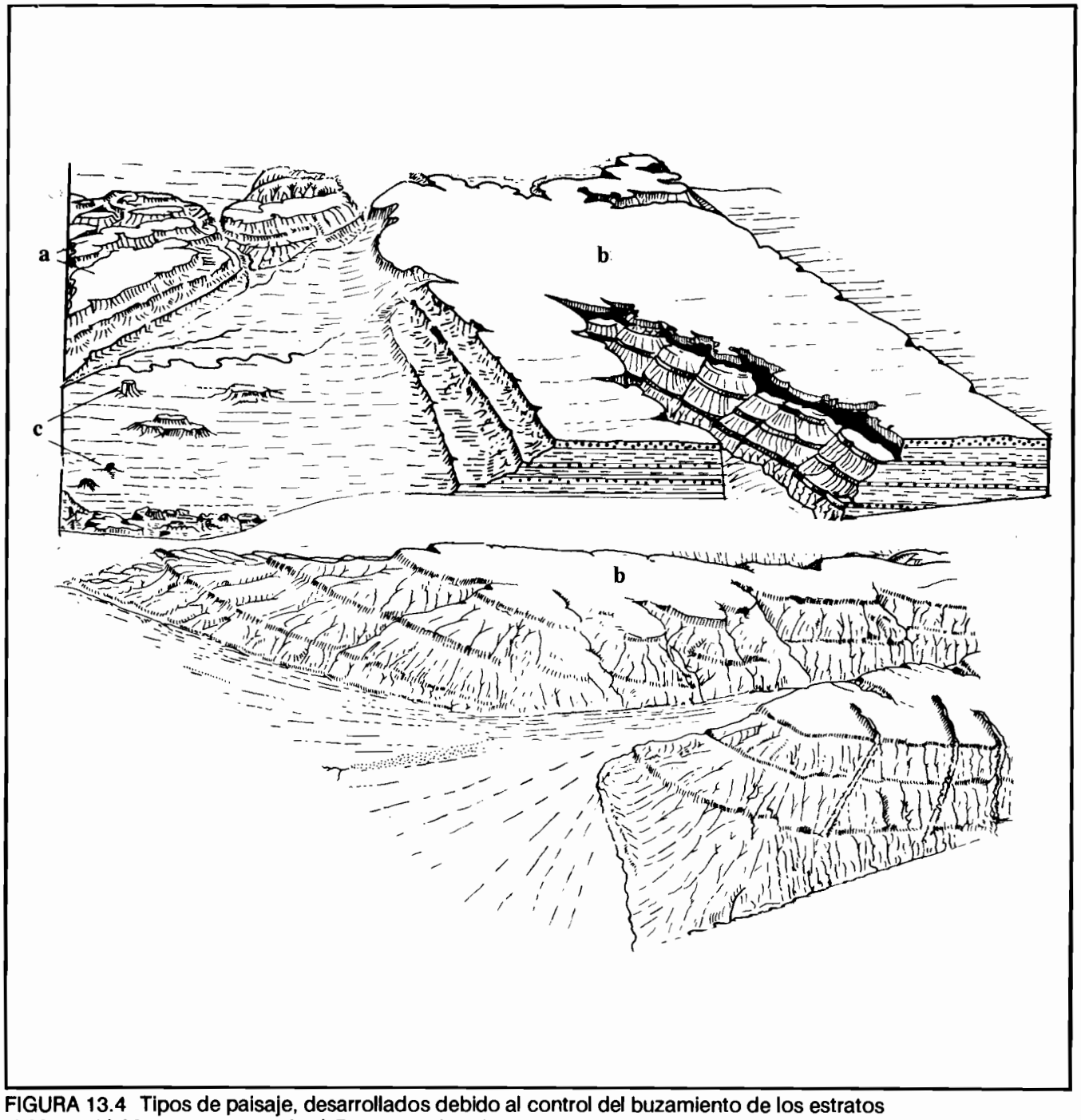


FIGURA 13.4 Tipos de paisaje, desarrollados debido al control del buzamiento de los estratos
a) Mesa. b) Meseta estructural. c) Butte o pedestal

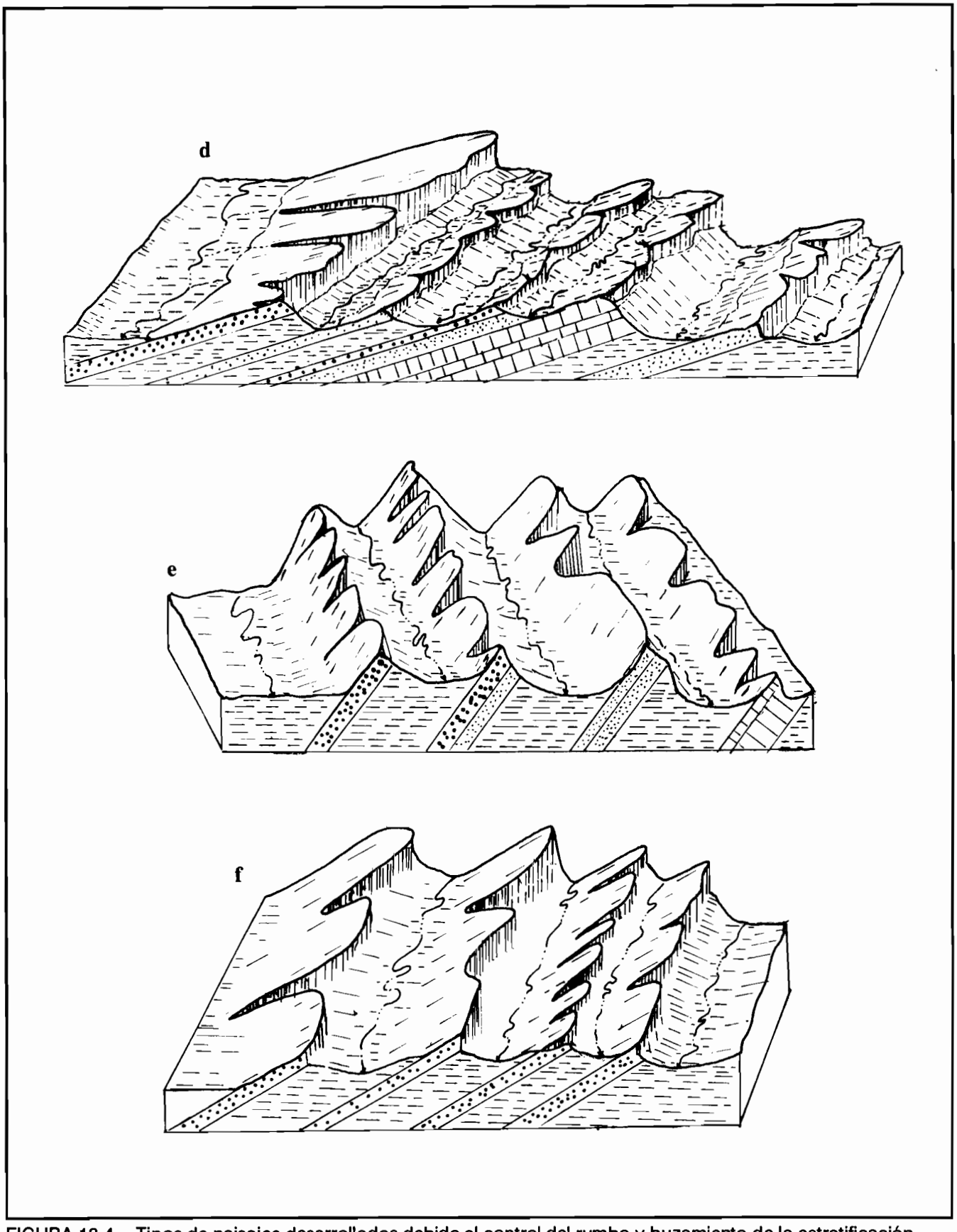


FIGURA 13.4 Tipos de paisajes desarrollados debido al control del rumbo y buzamiento de la estratificación. d) Cuesta. e) Hogbacks. f) Serranías homoclinales.

13.2.1 **Simbología fotogeológica .-** Para la representación de los diferentes valores de buzamientos, rumbos, estratos guias, conspicuos y contactos litológicos, se utiliza una simbología especial, que además se la representa con diferentes colores que ayudan al fotogeólogo, en la interpretación litológica y estructural. A continuación se describen los simbolos utilizados para representar rumbos y buzamientos.

SIMBOLOGIA PARA REPRESENTAR LA ESTRATIFICACION

EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS Y MAPAS FOTOGEOLOGICOS

COLOR AZUL

Rumbos y Buzamientos


Estratos Horizontales


Buzamiento moderado 1/2 ° a 5° (Sub-horizontal)


Rumbo y Buzamiento de estratos muy disturbados


Rumbo y buzamiento medido en el terreno


Estratos Verticales


Estratos Volcados


Buzamiento indeterminado

Rumbo y Buzamiento con desarrollo de Dip Slopes o Pendientes Estructurales

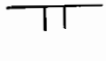

Buzamientos suaves entre 5° y 30°


Buzamientos intermedios entre 30° y 60°


Buzamientos altos entre 60° y 89°

Rumbo y Buzamiento sin desarrollo de Dip Slopes o Pendientes Estructurales


Buzamientos suaves entre 5° y 30°


Buzamientos intermedios entre 30° y 60°


Buzamientos altos entre 60 °y 89°

Estratificación


Estratos conspicuos


Estratos conspicuos con dirección de Buzamiento


Estratos Guias


Estratos Guias con dirección de Buzamiento

COLOR NEGRO

Contacto entre formaciones geológicas :


a) Contacto observado


b) Contacto observado con identificación de la dirección de Buzamiento


c) Contacto inferido


d) Contacto cubierto

Contacto entre Discordancias:


a) Contacto observado


b) Contacto observado con identificación de la dirección de Buzamiento, de la unidad superior


c) Contacto inferido


d) Contacto cubierto

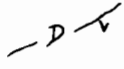
Contacto con rocas igneas:


a) con rocas intrusivas


b) con rocas extrusivas

Contacto entre Discontinuidades:


a) Contacto observado


b) Contacto observado con identificación de la dirección de Buzamiento, de la unidad superior


c) Contacto inferido


d) Contacto cubierto

El término DISCONTINUIDAD es un concepto estructural que en fotogeología se utiliza en el mapeo de estructuras geológicas, que pueden ser identificadas en la fotografía aérea. Se halla relacionado con cambios en la composición, orientación, forma, tamaño o perturbaciones que se producen en las rocas sedimentarias.

Por ejemplo las perturbaciones que se producen en la iniciación de un nuevo ciclo en un ambiente deposicional, crean discontinuidades, tales como contactos formacionales, superficies de estratificación y discordancias.

Entre las discontinuidades primarias que son de interes para el geomorfólogo estructural y el fotogeólogo se hallan las discordancias, planos de estratificación, contactos formacionales que separan series sedimentarias con características muy diferentes en cuanto a su expresión

morfológica, al rango de erosión, orientación y frecuencia de la fracturación, sobre las cuales se desarrollan diseños de drenaje con diferentes valores de densidad.

Las discontinuidades estructurales secundarias son rasgos estructurales impuestos, tales como fallas, fracturas, diaclasas, clivaje, foliación, diques, que jugaron un rol importante durante la deformación de la roca. Estas estructuras impuestas pueden caracterizar a una serie sedimentaria, de manera que un cambio áreal en la distribución, orientación, densidad, longitud de ellas pueden reflejar una discontinuidad primaria, que puede ser fácilmente identificada en la fotografía aérea a través de su expresión morfológica (Modelos estereoscópicos 65 y 66).

En ese sentido es muy útil la identificación de los efectos de la erosión diferencial en los estratos, ya que la mayoría de las discontinuidades, pueden ser identificadas con la ayuda de su expresión morfológica.

13.3 IDENTIFICACION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ESTRUCTURAS GEOLOGICAS EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS

A la escala de las fotografías aéreas y de las imagenes de satélite, los principales tipos de estructuras geológicas mayores identificables en las fotografías aéreas son los siguientes:

Pliegues

Fallas y diaclasas

Discordancias

13.3.1 **Pliegues.-** La identificación y la anotación del mayor número de rumbos y buzamientos, que se observan en la fotografía aérea, permite definir con mayor precisión la ubicación, orientación, configuración, simetria, dimensiones y las características geométricas de los diferentes tipos de pliegues.

Por esta razón, es que una de las recomendaciones más importantes en fotogeología, cuando se trata de identificar los diferentes tipos de pliegues, es la necesidad de anotar en la fotografía áerea, el máximo número de rumbos y buzamientos que se puedan observar.

Antes de describir los principales criterios fotogeológicos para la identificación de pliegues, se presentan algunos conceptos teóricos, que pueden ser ampliados mediante la consulta de textos más especializados en geología estructural.

Un **Pliegue** puede ser definido como aquella superficie curva, que es resultado de la deformación de superficies planas o planos de estratificación horizontales, desarrollados en rocas sedimentarias u otras rocas, cuando son sometidas a esfuerzos de compresión de intensidad variable.

Las superficies curvas así desarrolladas, dan lugar a dos tipos de pliegues, denominados **Pliegues Anticlinales y Pliegues Sinclinales.**

Un **Anticlinal** es un pliegue que es convexo hacia arriba, en el que estratigráficamente las rocas más antiguas se hallan ubicadas en el núcleo y las más recientes alejadas del núcleo.

Etimológicamente significa **opuestamente inclinado** considerando en ese caso, la situación más sencilla, en la que los dos flancos se inclinan en direcciones opuestas. (Figura 13.5.a)

Por el contrario un **Sinclinal** es un pligue cóncavo hacia arriba en el que estratigráficamente las rocas más jovenes se hallan ubicadas en el núcleo. (Figura 13.5.b)

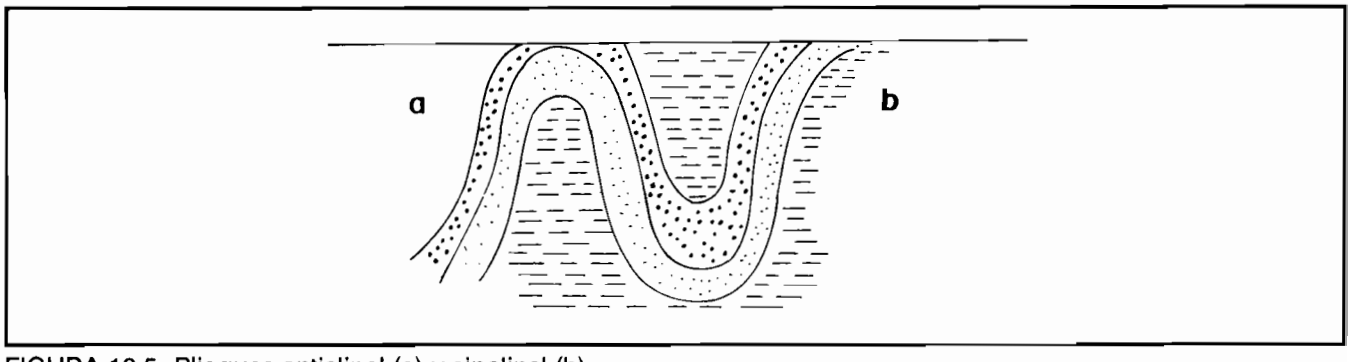


FIGURA 13.5 Pliegues anticlinal (a) y sinclinal (b)

Etimológicamente significa **conjuntamente inclinado** es decir que los flancos de esta estructura, se hallan buzando en direcciónes convergentes, siempre que se trate de un plegamiento que no ha sufrido grandes deformaciones, que ocasionen modificaciones en el buzamiento de uno o ambos flancos.

Los términos anteriormente definidos, establecen claramente que la posición estratigráfica de los estratos que integran a un pliegue, constituye una condición esencial, para designar o clasificar a un pliegue como anticlinal o sinclinal; por lo tanto es necesario conocer la secuencia estratigráfica o la columna estratigráfica que caracteriza a la región donde se realice la identificación y clasificación de pliegues.

Cuando la posición estratigráfica de la región es desconocida, o no se toma en cuenta la secuencia estratigráfica de un pliegue y solo se los identifica en base a su forma, se utilizan los términos **Antiforma** y **Sinforma** para designar estas estructuras.

Antiforma corresponde a un pliegue que es convexo hacia arriba, mientras que **Sinforma** es un pliegue concavo hacia abajo. Estos dos términos pueden tambien ser utilizados cuando se observan pliegues en rocas igneas extrusivas e intrusivas como también en rocas metamórficas, en las cuales no es tarea fácil definir la secuencia estratigráfica.

Existen situaciones en las que tanto el término anticlinal o sinclinal, puede ser utilizado conjuntamente con el de antiforma o sinforma, especialmente cuando un pliegue anticliclinal o sinclinal deformado, sufre nuevas deformaciones.

13.3.1.1 **Elementos estructurales de los pliegues.-** Los elementos estructurales, que generalmente son utilizados para caracterizar geométricamente a los diferentes tipos de pliegue son los siguientes:

Charnela del pliegue Se denomina así al punto de máxima curvatura del pliegue, cuando es observado en un corte transversal al rumbo general del pliegue.

Por lo general la charnela es una zona, que se la denomina **Zona de la charnela**, caracterizada por ser la zona de máxima curvatura a lo largo del pliegue. (Figura 13.6.a, modelo estereoscópico 113)

Cresta de un pliegue Corresponde a la linea que une los puntos más altos del **mismo estrato** en un número infinito de secciones transversales al rumbo general de la estructura (Figura 13.6.b).

El plano que contiene las crestas de un pliegues se denomina **Plano crestal**.

Seno de un pliegue Es la linea que une los puntos más bajos del mismo estrato en un número infinito de secciones transversales al rumbo general de la estructura. (Figura 13.6.b). El plano que contiene los senos de un pliegue se llama **Plano del seno**.

Flancos del pliegue Corresponden a los lados del pliegue, que se unen en la charnela del pliegue. Los flancos pueden ser planares, pero por lo general son curvos. Un flanco se extiende desde el plano axial del pliegue hasta el próximo plano axial del pliegue contiguo. Ello significa que el flanco de un anticlinal corresponde al flanco del sinclinal vecino.

Eje del pliegue Es la linea que conecta las charnelas de las superficies plegadas. (Figura 13.6.a).

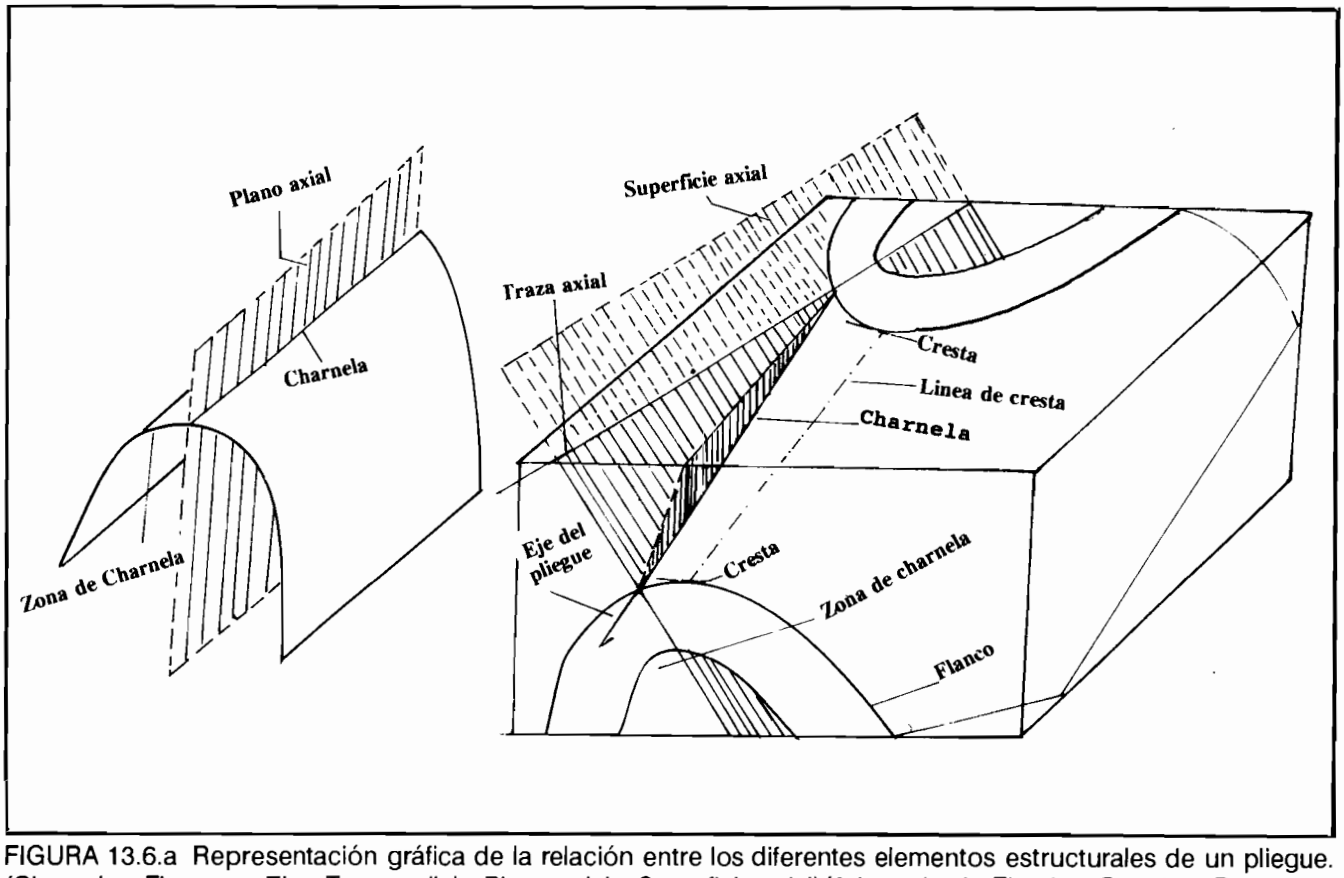


FIGURA 13.6.a Representación gráfica de la relación entre los diferentes elementos estructurales de un pliegue. (Charnela - Flancos - Eje - Traza axilal - Plano axial - Superficie axial)(Adaptado de Fletcher C. 1977 - Ramsay J. 1977)

En algunos casos el eje puede ser recto, en otros es muy irregular, pero por lo general los ejes son curvos en su mayoría. (Figura 13.6.c) La orientación del eje de un pliegue, está de finida por el rumbo o dirección y la inclinación o hundimiento. El número de medidas que se realiza para definir la orientación de un eje, se halla en función de la geometría del eje. Si los ejes son rectos, solo se requiere una medida, por el contrario cuando las superficies plegadas se hallan marcadas

por ejes que no son rectos, es necesario realizar varias medidas, dividiendo a la superficie plegada en sectores, en los que se trata de asimilarla con un eje recto.

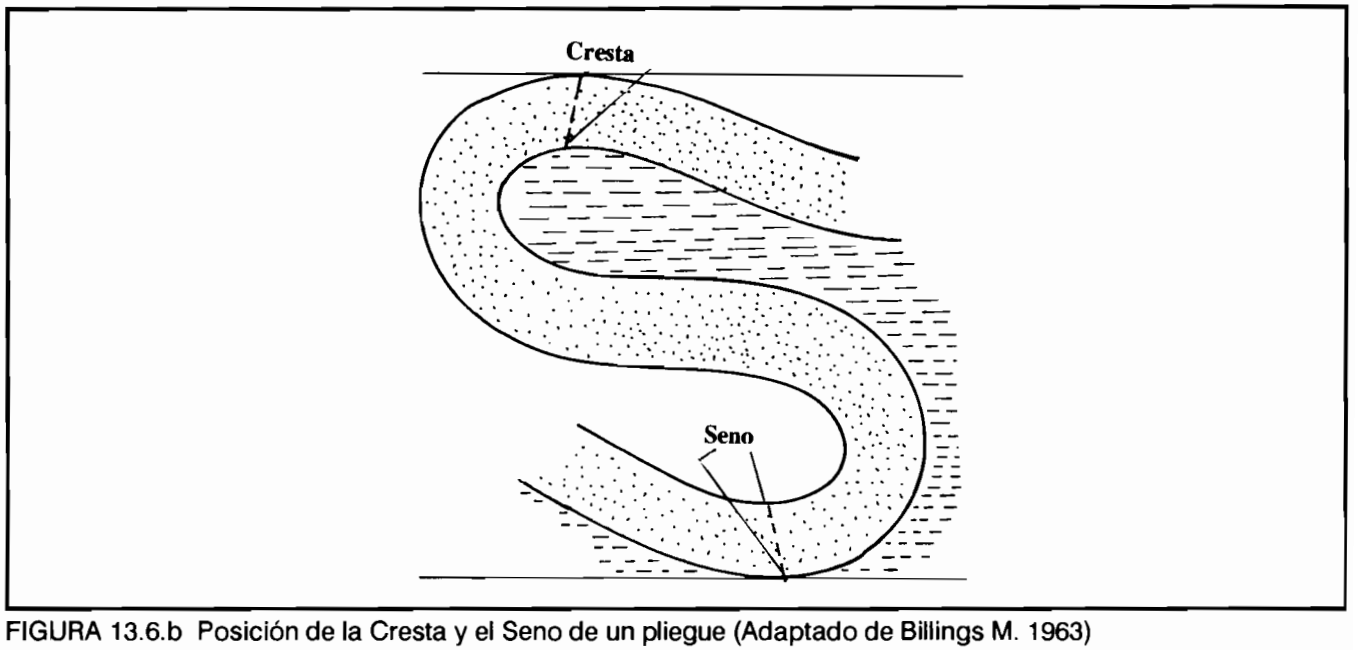


FIGURA 13.6.b Posición de la Cresta y el Seno de un pliegue (Adaptado de Billings M. 1963)

Los pliegues que poseen ejes se llaman **Pliegues Cilindricos**, término que puede incluir también a aquellos pliegues que son aproximadamente cilindricos. Este tipo de pliegues se caracteriza desde el punto de vista geométrico, porque cualquier parte del pliegue puede ser fácilmente orientado. (Figura 13.6.c)

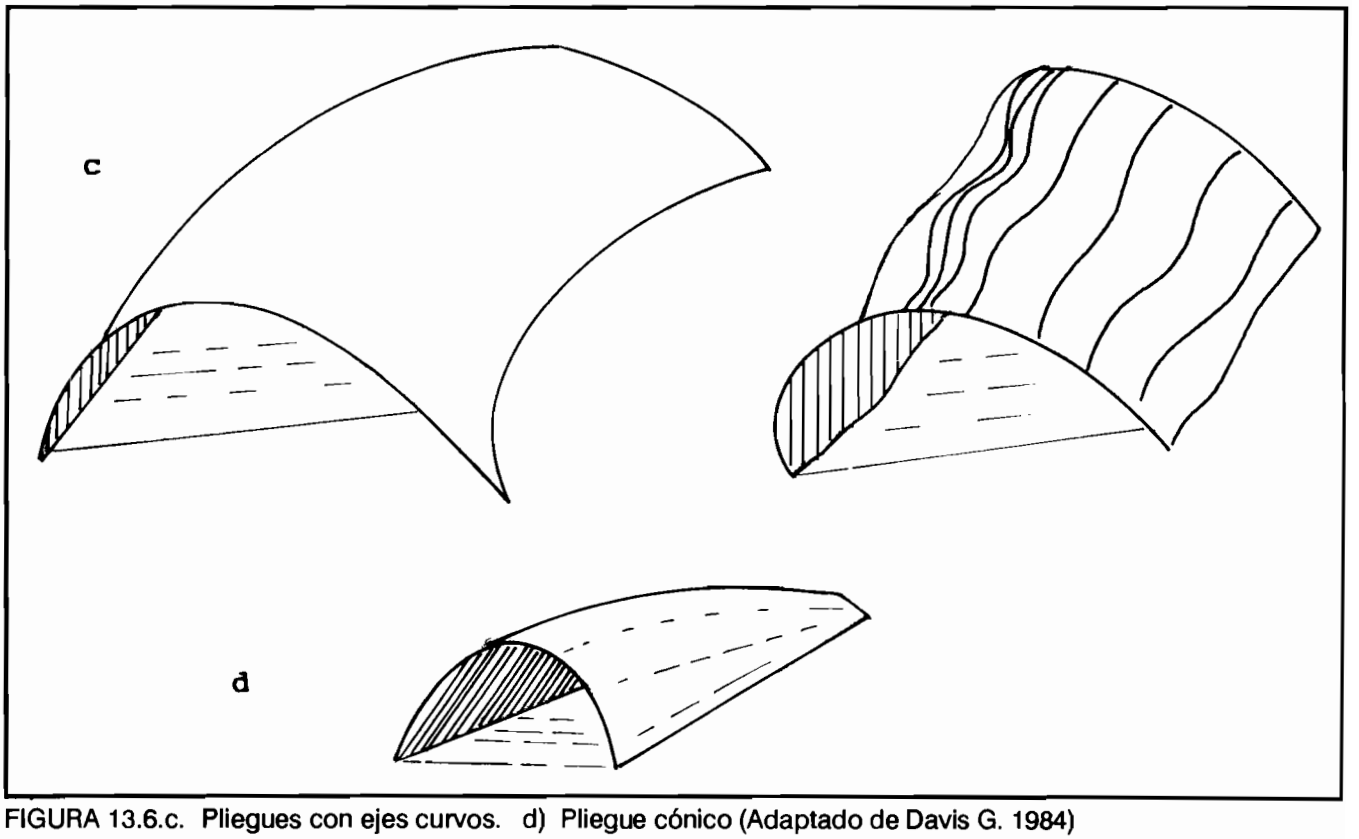


FIGURA 13.6.c. Pliegues con ejes curvos. d) Pliegue cónico (Adaptado de Davis G. 1984)

Este tipo de pliegue puede ser generado moviendo el eje del pliegue paralelo asimismo. Los pliegues que no poseen un eje de pliegue, se denominan **Pliegues no cilíndricos** que pueden ser divididos por partes, para poder asimilarlos a pliegues cilindricos, aunque en algunos casos ellos no pueden ser subdivididos, como los domos anticlinales y cubetas sinclinales.

Estos pliegues, también son denominados **Pliegues de doble hundimiento** o **Pliegues cónicos**, porque la superficie plegada forma parte de un cono. (Figura 13.6.d). En el caso de estos pliegues, resulta muy difícil y compleja el tratar de definir y medir la orientación del pliegue, por ello que cuando se desea obtener la orientación de este pliegue, se debe subdividir en sectores que tengan características de pliegues cilíndricos, en el que sea posible identificar segmentos cortos y rectos del eje. De acuerdo a la inclinación o hundimiento del eje, los pliegues pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- **Pliegue Horizontal** Cuando el eje del pliegue es horizontal o con un ángulo nulo en relación a un plano horizontal. (Figura 13.7.a).
- **Pliegue con hundimiento suave** El valor de la inclinación del eje del pliegue varia entre 10^{o} y 45^{o} con relación al plano horizontal (Figura 13.7.b)
- **Pliegue con hundimiento alto** El ángulo de inclinación o hundimiento del eje varía entre 45^{o} y 80^{o}. (Figura 13.7.c)
- **Pliegue Vertical** En este caso el eje del pliegue, se halla a 90^{o} de la horizontal. (Figura 13.7.d)

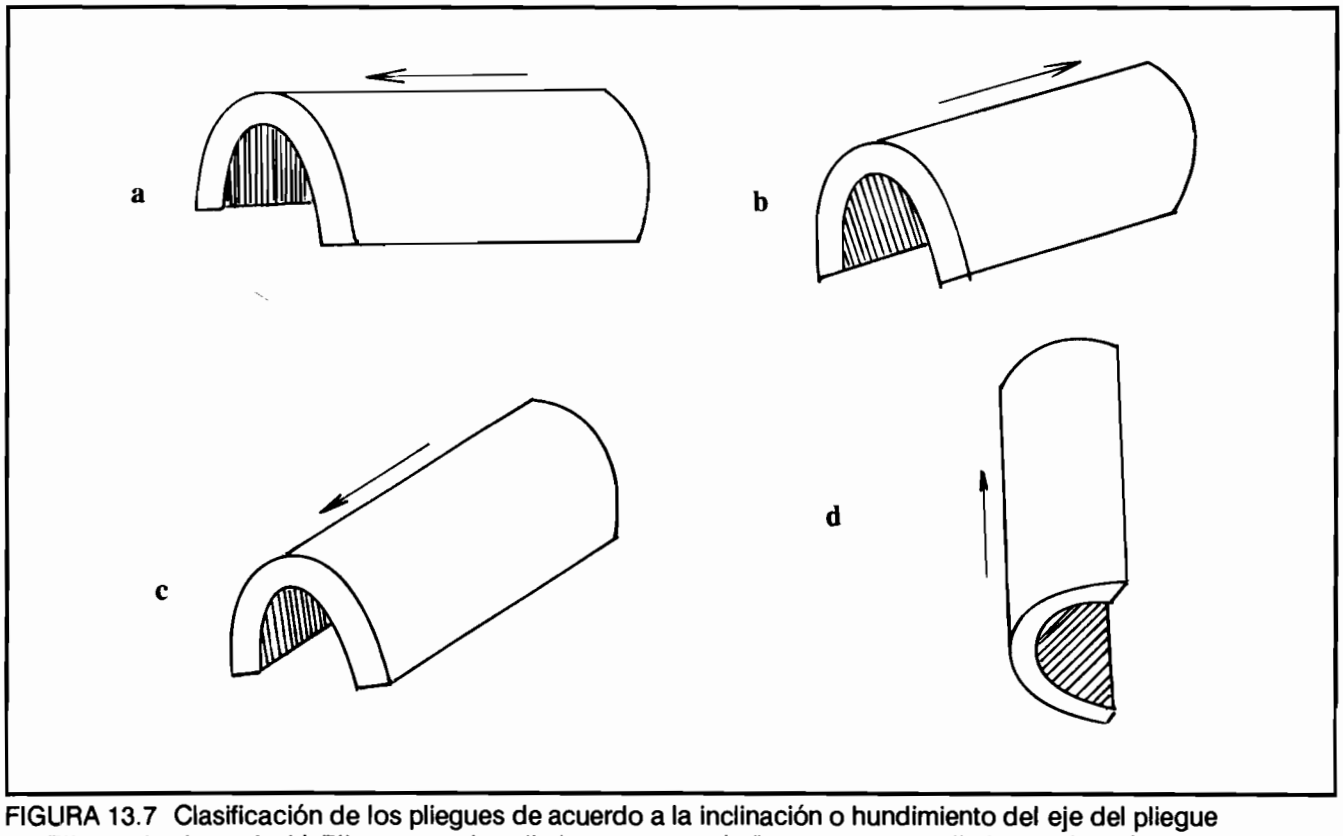


FIGURA 13.7 Clasificación de los pliegues de acuerdo a la inclinación o hundimiento del eje del pliegue
a) Pliegue horizontal . b) Pliegue con hundimiento suave. c) Pliegue con hundimiento alto. d) Pliegue vertical. (Adaptado de Davis G. 1984 y Fletcher 1977)

Los pliegues con hundimiento suave y alto, son también genéricamente denominados **Pliegues buzantes**. La identificación de estos pliegues en las fotografías aéreas, se las realiza, mediante el rumbo y buzamiento de los estratos de ambos flancos del pliegue, que en este caso, muestran convergencia en sus rumbos y corresponde al lugar donde se desarrolla la máxima curvatura del pliegue, que se conoce con el nombre de nariz del pliegue, que en el plano horizontal se observa con mayor facilidad y corresponde a las terminaciones periclinales o cierres de la estructura plegada. (Modelos estereoscópicos 4, 14, 20, 28, 29, 33, 34, 35, 42, 50, 84, 86, 89, 90 y 109) Cuando se trata de varios pliegues buzantes, muestran un modelo en zig-zag que puede ser observado en las fotografías aéreas. (Modelos estereoscópicos 56 y 87).

Superficie axial Es el plano o superficie que pasa a través del eje del pliegue de las sucesivas superficies plegadas y por lo general divide al pliegue lo más simetricamente posible. Cuando esta superficie es planar se llama **Plano axial** y corresponde al plano de simetria del pliegue. (Figura 13.6.a).

A la traza de una superficie axial de un pliegue, que pasa a través de sucesivas charnelas sobrepuestas, se la denomina **Traza axial**. Por lo tanto la intersección de toda superficie axial con la del terreno u otra superficie, corresponde a la la traza axial del pliegue, cuando es observado en un corte perpendicular al rumbo general del pliegue.

Cuando el plano axial es vertical, la traza axial y la dirección del eje del pliegue coinciden. (Figura 13.6.a).

Por lo general la superficie axial de un pliegue puede ser ya sea regularmente curvada o irregularmente curvada, como se muestra en la figura 13.8.

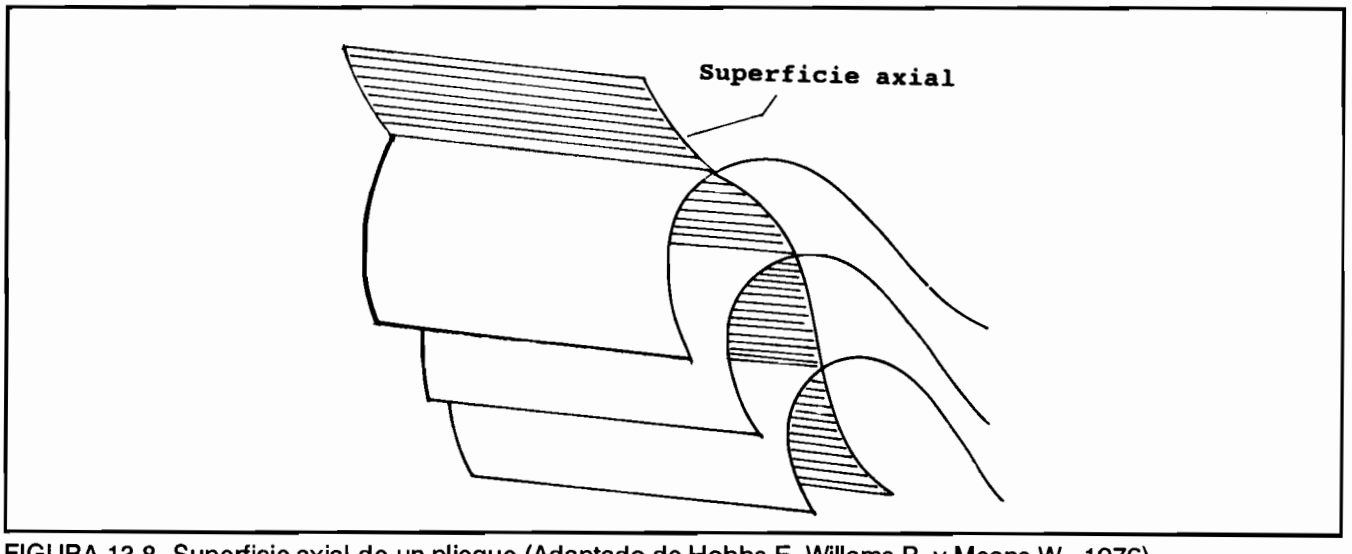


FIGURA 13.8 Superficie axial de un pliegue (Adaptado de Hobbs E.,Willams P. y Means W. 1976)

Al igual que el eje de un pliegue, el plano axial de un pliegue, puede ser definido y orientado, en función de su rumbo y buzamiento. Si se trata de un plano axial, es suficiente realizar una sola medida, por el contrario si se trata de una superficie axial no planar, se requiere de númerosas medidas del rumbo y buzamientos de las superficies axiales para definir con precisión la orientación de dicha superficie. En función de la posición de los planos axiales, los pliegues pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- **Pliegue Normal** Corresponde a un pliegue que tiene un plano axial casi vertical. (Figura 13.9.a)

- **Pliegue Inclinado** El plano axial, tiene un buzamiento que varía entre 10^{o} y 80^{o}. (Figura 13.9.b)

- **Pliegue Volcado** En este caso ambos flancos del pliegue buzan en la misma dirección, por lo tanto el buzamiento del plano axial se hallará orientado en la misma dirección que los flancos del pliegue. (Figura 13.9.c, Modelos estereoscópicos 83 y 29)

- **Pliegue Recumbente** Se caracteriza porque el plano axial es casi horizontal. (Figura 13.9.d)

La orientación precisa de un pliegue es posible realizarla, sólo cuando se conocen los datos relacionados con la orientación del eje y plano axial del pliegue, descritos anteriormente.

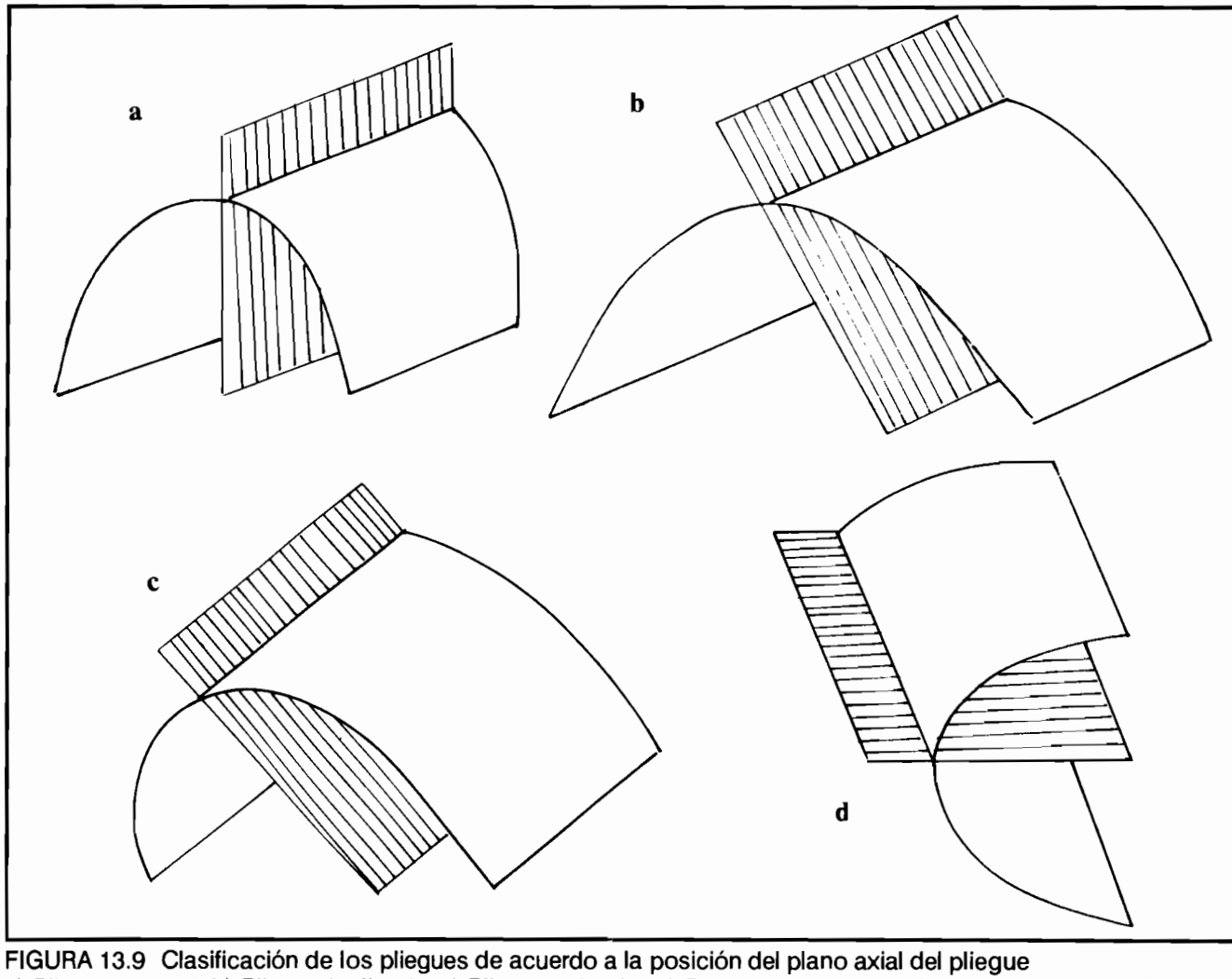


FIGURA 13.9 Clasificación de los pliegues de acuerdo a la posición del plano axial del pliegue
a) Pliegue normal. b) Pliegue inclinado. c) Pliegue volcado. d) Pliegue recumbente. (Adaptado de Davis G. 1984 y Fletcher C. 1977 - Billings M. 1954)

13.3.1.2 **Configuración de pliegues .-** Se utiliza este término, para describir a los pliegues de acuerdo a la posición que adoptan los flancos en relación al **ángulo interflanco**, que corresponde al ángulo interno que forman los flancos, cuando ellos son proyectados en dirección de la charnela del pliegue.

Los pliegues de acuerdo al valor del ángulo interflanco según Fleuty (1964) se clasifican de la siguiente manera:

- **Pliegue muy abierto o suave** El ángulo interflanco varía entre 120° y 180°. (Figura 13.10.a)
- **Pliegue abierto** El ángulo interflanco varía entre 70° y 120° como se representa en la figura 13.10.b.
- **Pliegue cerrado** En este pliegue, el ángulo interflanco varía entre 30° y 70°. (Figura 13.10.c).
- **Pliegue estrecho o apretado** El ángulo interflanco es menor a 30°. (Figura 13.10.d)
- **Pliegue isoclinal** El ángulo interflanco varía entre 0° a 5°, en este caso los flancos tienen igual inclinación, por lo que son aproximadamente paralelos (Figura 13.10.e)

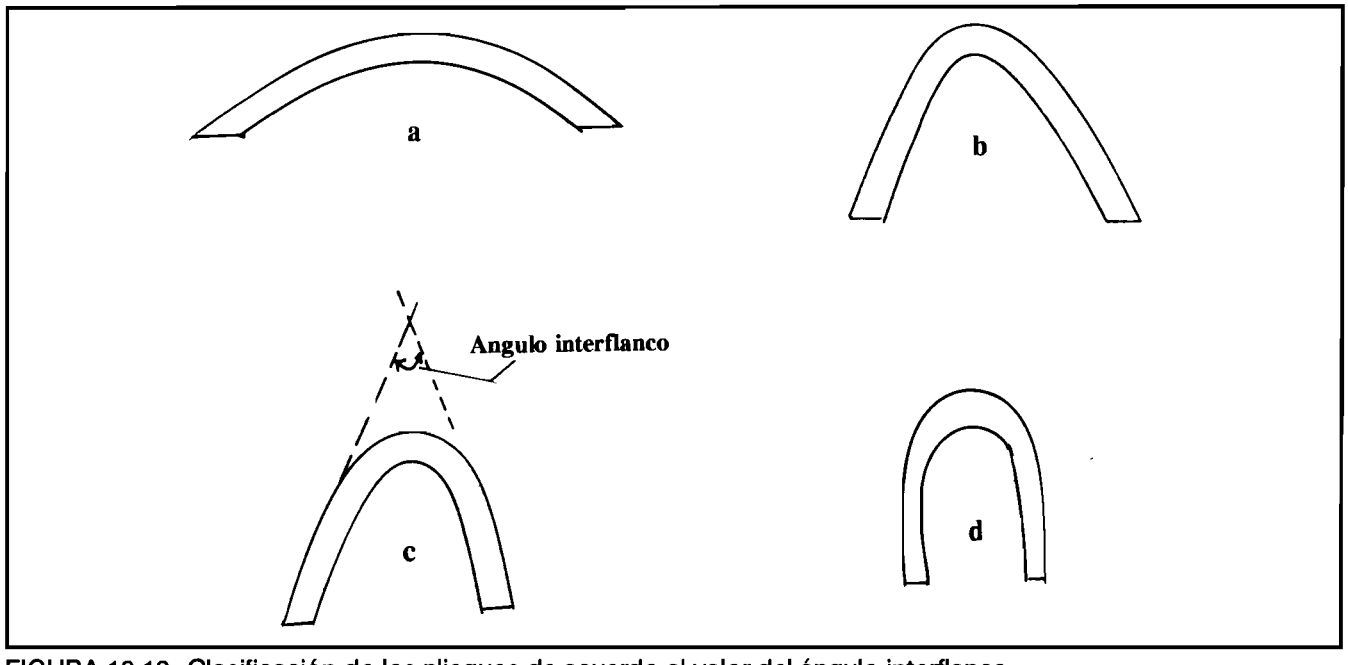


FIGURA 13.10 Clasificación de los pliegues de acuerdo al valor del ángulo interflanco.
a) Pliegue muy abierto o suave. b) Pliegue abierto. c) Pliegue cerrado. d) Pliegue estrecho o apretado e) Pliegue isoclinal. (Adaptado de Fleuty 1964 - Fletcher C. 1977)

Si se establece una relación entre las longitudes de los flancos y el radio de curvatura de la zona de la charnela, los pliegues se denominan de la siguiente manera:

- **Pliegue angular** Se denomina así cuando el radio de curvatura de la zona de charnela es pequeño en relación a la longitud del pliegue. (Figura 13.11.a)
- **Pliegue redondeado** En este caso el radio de curvatura de la zona de charnela es grande en relación a la longitud de los flancos. (Figura 13.11.b)

13.3.1.3 **Dimensiones de un pliegue .-** Establecer y describir los parametros que definen el tamaño de un pliegue, no es sencillo, por la falta de uniformidad en la geometría de los pliegues.

En algunos casos, se hallan en forma aislada, sin corresponder a una serie continua de plegamiento, en otros casos no muestran una relación estructural con otros pliegues, algunas veces se hallan interrumpidas por fallas, etc.

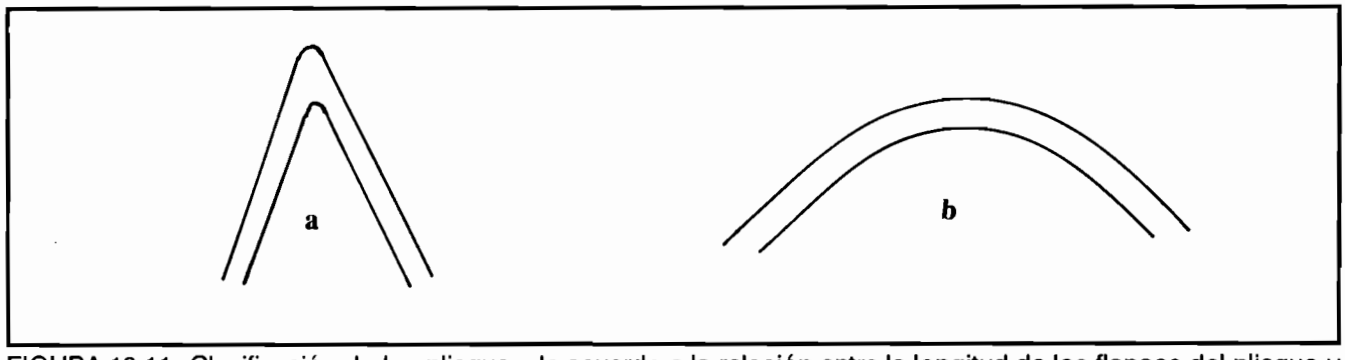


FIGURA 13.11 Clasificación de los pliegues de acuerdo a la relación entre la longitud de los flancos del pliegue y el radio de curvatura de la zona de charnela:
a) Pliegue angular. b) Pliegue redondeado.

Por estas razones, se considera que la dimensión de un pliegue puede ser descrita, solamente en función de la **altura del pliegue** y del **ancho o separación del pliegue**.

Para definir la altura y el ancho de un pliegue, algunos especialistas utilizan como referencia, la traza de una superficie imaginaria, que une los puntos donde se observa la inflexión de los flancos de un pliegue, que se la denomina **Traza media o mediana** (Figura 13.12). En otros casos, cuando no existe deflexión observable en el flanco de un pliegue, esta superficie es obviada y se considera otra relación.

- **Altura de un pliegue** Es la distancia entre la traza media y la charnela del pliegue,medida a lo largo de la traza axial del pliegue. (Figura 13.12.).

  Cuando no se considera la traza media, la altura del pliegue corresponde a la distancia media de la distancia que existe entre la charnelas del anticlinal y sinclinal, medidas a lo largo de la traza axial o plano axial. (Figura 13.13.)

- **Ancho o separación del pliegue** La distancia que existe entre los puntos de inflexión de los flancos de un pliegue, medido a lo largo de la traza axial, se denomina ancho o separación del pliegue. (Figura 13.12.).

  Cuando no se considera la traza axial, el ancho o separación del pliegue, corresponde a la distancia más corta entre los planos axiales de dos pliegues contiguos. Figura (13.13.b)

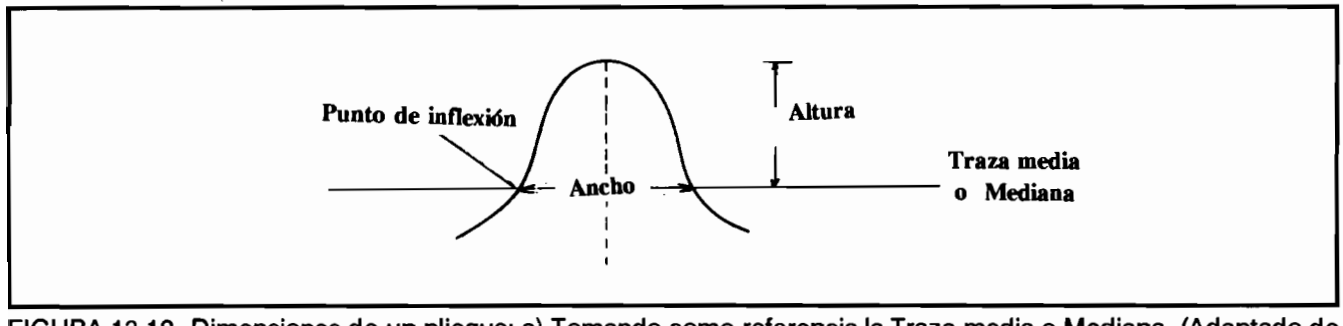


FIGURA 13.12 Dimensiones de un pliegue: a) Tomando como referencia la Traza media o Mediana. (Adaptado de Davis G. 1984)

- **Longitud del pliegue** Se halla definida por la distancia que existe entre las dos terminaciones periclinales o cierres estructurales del pliegue.

  La relación que existe entre la longitud del pliegue y el ancho del mismo, permite utilizar términos más especificos, para designar a los pliegues.

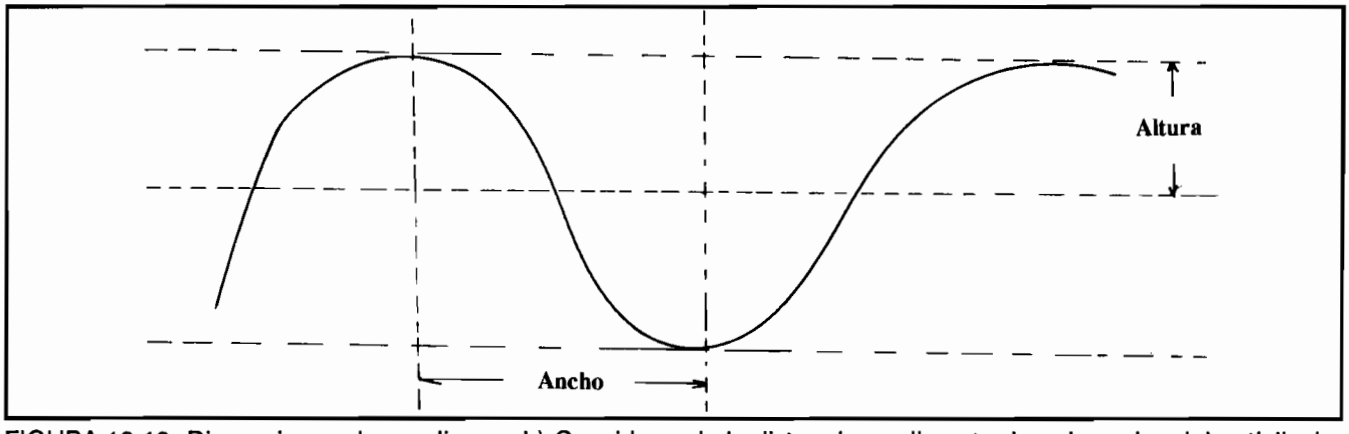


FIGURA 13.13 Dimensiones de un pliegue: b) Considerando la distancia media entre las charnelas del anticlinal y sinclinal. (Adaptado de Davis G. 1984)

- Un pliegue anticlinal con una longitud igual o aproximadamente similar a la de su ancho, es preferiblemente designado con el nombre de **Domo anticlinal** y de **Cubeta sinclinal.** (Modelos estereoscópicos 14 y 21)

- Si la longitud es algo más que su ancho o aproximadamente dos veces, se designa a los pliegues como **Braquianticlinal** o **Braquisinclinal.** (Modelos estereoscópicos 66, 82, 89, 109, 86 - foto 1.3 - Figura 13.14)

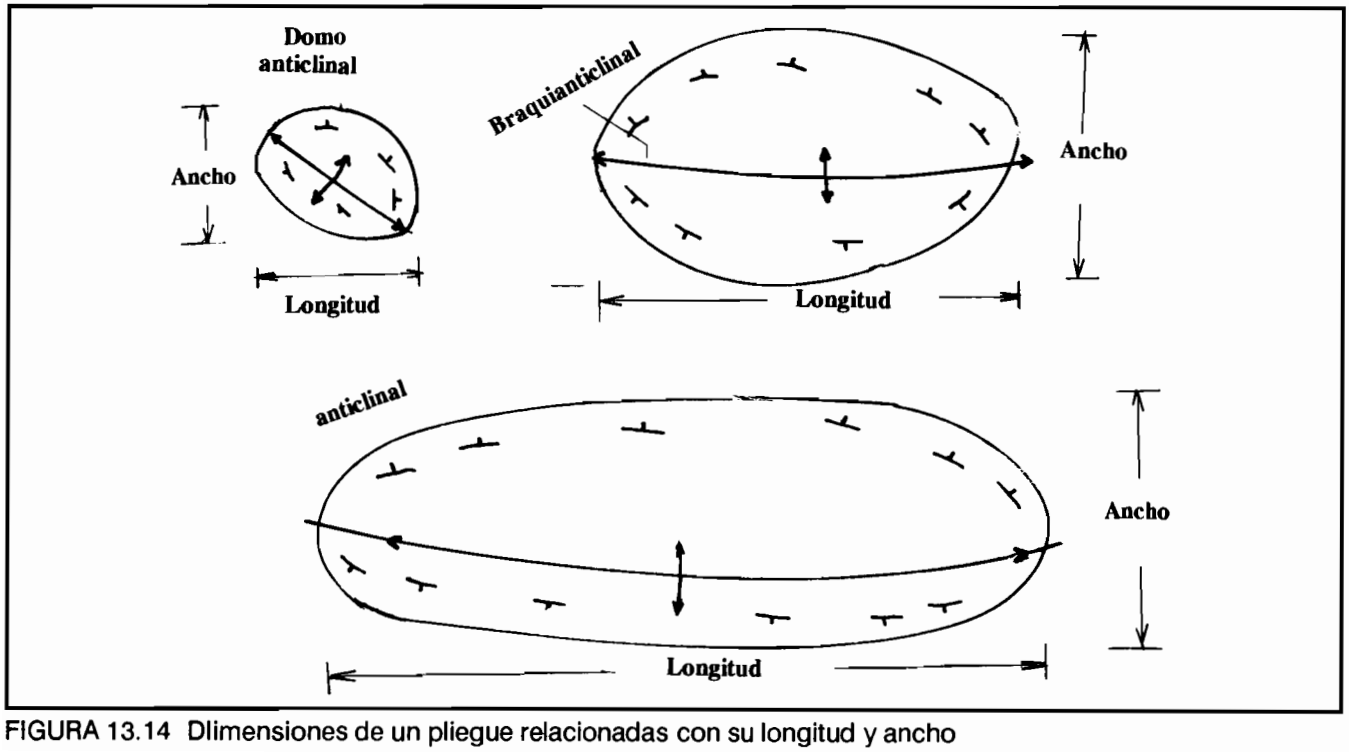


FIGURA 13.14 Dlimensiones de un pliegue relacionadas con su longitud y ancho

- Si la longitud supera al ancho del pliegue en mas de dos veces, se habla simplemente de Anticlinal y Sinclinal. (Modelos estereoscópicos 4, 19, 20, 23, 28, 33. 34, 35, 42 y 50 y figura 13.14).

Por lo descrito anteriormente, los pliegues tienen dimensiones muy variables y de acuerdo a sus tamaños se puede hablar de micropliegues, pliegues menores o repliegues, cuando sus dimensiones varian desde el orden de milímetros a metros. (Modelos estereoscópicos 29, 33, 50 y 90).

Por el contrario cuando se trata de pliegue de dimensiones muy grandes, ellos al mismo tiempo se hallan constituídos por un conjunto de pliegues que pueden confundir la característica individual o identidad del pliegue principal. A este conjunto de pliegues, de acuerdo se hallen asociados con una estructura mayor anticlinal o sinclinal, se denominan anticlinorio y sinclinorio. (Modelos estereoscópicos 56, 87).

13.3.1.4 **Simetría de los pliegues .-** Existen diferente maneras para definir la simetria de un pliegue, entre ellas se puede citar a las siguientes:

- Si se considera la relación angular que existe entre el plano axial o traza axial con la traza media, un pliegue simétrico es aquel, en el que ambas trazas son perpendiculares entre sí. (Figura 13.15.a)

- La simetría de un pliegue, puede también ser definida considerando solamente la posición del plano axial. En ese caso un pliegue es simétrico, cuando el plano axial es vertical.

- Si se considera el ángulo interflanco, que corresponde al ángulo interno que forman los flancos, cuando ellos son proyectados en dirección de la charnela del pliegue, un pliegue simétrico, será aquel cuyo plano axial o superficie axial coincide con la bisectriz de dicho ángulo. (Figura 13.10 y modelos estereoscópicos 20, 23, 28, 35)

  Por el contrario, en un pliegue asimétrico, el plano axial o superficie axial no coincidirá con la bisectriz del ángulo interflanco. (Figura 13.15b)

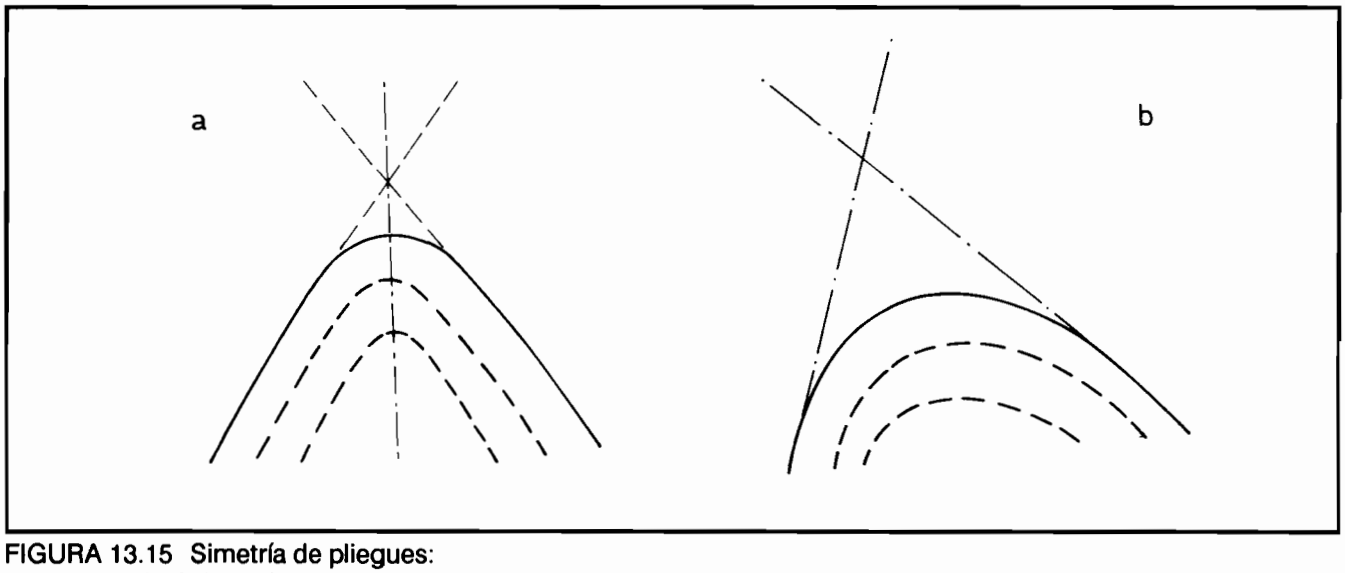


FIGURA 13.15 Simetría de pliegues:
a) Pliegue simétrico. b) Pliegue asimétrico.

- Una forma más rápida y simple para definir la simetria de un pliegue, utilizando fotografías aéreas, es determinar en forma aproximada valores del buzamiento de los estratos en los flancos del pliegue, de manera que si los buzamientos en ambos flancos son aproximadamente similares, se podrá considerar al pliegue como **Simétrico**. Por el contrario, si los estratos de un flanco, tienen valores de buzamiento más altos, que los del otro flanco, el pliegue puede ser considerado como un pliegue asimétrico.

13.3.1.5 **Clasificación de pliegues** Los pliegues pueden ser clasificados de acuerdo a la orientación del eje y plano axial del pliegue y a la génesís o modo de formación.

- La primera clasificación basada en la orientación del eje y plano axial del pliegue ya ha sido discutida anteriormente. Sin embargo en forma resumida se puede nombrar los principales pliegues:

Orientación del eje

- Pliegue horizontal
- Pliegue con hundimiento suave
- Pliegue con hundimiento alto
- Pliegue vertical

Orientación del Plano axial

- Pliegue normal
- Pliegue Inclinado
- Pliegue volcado
- Pliegue Recumbente

De acuerdo al modo de formación o su génesis, los pliegues pueden ser agrupados en dos grupos : **Pliegues paralelos** y **Pliegues similares.**

- **Pliegues paralelos** Son pliegues que se caracterizan por que el espesor de los estratos, medido perpendicularmente al plano de estratificación, permanece constante tanto en los flancos como en la zona de la charnela. Este pliegue se desarrolla por el ajuste que se realiza entre cada capa, de manera que un estrato dado se desliza hacia arriba en relación a la capa subyacente, en dirección al núcleo del pliegue anticlinal. (Figura 13.16.a).

  Como los espesores de los estratos de estos son constantes en cualquier sector del pliegue, también son denominados **Pliegues Isópacos**. En algunos casos cuando los pliegues asumen la forma de un arco de circulo, se denominan **Pliegues concéntricos**, término que no es muy utilizado.

  El radio de curvatura de los estratos que desarrollan este tipo de pliegue, varía cuando se pasa de un estrato a otro, aumentando hacia arriba en los anticlinales, de manera que a niveles más profundos va desapareciendo el pliegue hasta encontrar la zona de desarraigo

donde se pone horizontal. Es precisamente en ese nivel del pliegue donde el comportamiento ya no corresponde al de tipo paralelo y por lo tanto el mecanismo del plegamiento es diferente, generalmente caracterizado por el desarrollo de fallas de tipo inverso en la charnela del pliegue.

El mecanismo de formación de este tipo de pliegues corresponde al de flexión, que corresponde a una zona de la corteza donde las leyes y los mecanismos de deformación son similares y que por la profundidad y características corresponde al nivel estructural medio, en el que la deformación no es muy intensa porque el esfuerzo tectónico no es muy grande, además de afectar a series sedimentarias constituidas por alternancias de rocas muy variadas. (Modelos estereoscópicos 4, 9, 20, 28, 33, 35, 39, 50 y 89)

- **Pliegues similares** Tambien denominado **Anisópacos**, se caracterizan porque los espesores de los estratos varian de acuerdo a su posición, adelgaza en los flancos, mientras que aumenta en la zona de la charnela. Pero si se considera el espesor medido en forma paralela al plano axial del pliegue, este será constante y por ello la persistencia en su forma a través de toda la serie plegada. Un pliegue similar se caracteriza porque tanto las superficies inferiores y superiores de los estratos son identicas en sus formas, por lo que pueden desarrollarse a cualquier profundidad sin que sufra cambios. (Figura 13.16)

  A diferencia de los pliegues paralelos, los pliegues similares, se deben a la deformación que se produce por ajuste dentro de los mismos estratos, en el que ocurre desplazamientos paralelos al plano de estratificación, similar al que ocurre si se deslizan uno sobre otro los naipes de una baraja.

  En este tipo de pliegues, no es necesario que la roca se halle previamente estratificada, por lo general son característicos de zonas de plasticidad, muy frecuente en las rocas metamórficas y corresponderia al nivel estructural inferior, en el que el mecanismo dominante del plegamiento es el aplanamiento.

Por lo general estos pliegues se hallan acompañados por el desarrollo de esquistosidad.

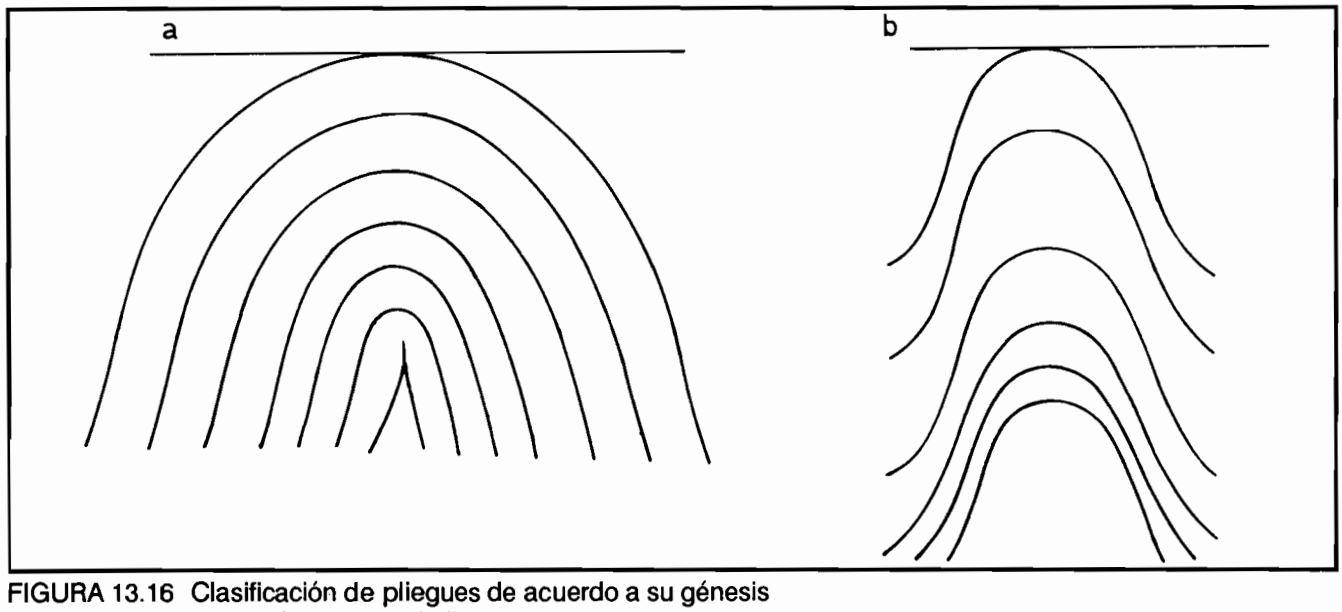


FIGURA 13.16 Clasificación de pliegues de acuerdo a su génesis
a) Pliegues paralelos. b) Pliegues similares.

13.3.2 **Estructuras homoclinales .-** Este término es utilizado para referirse a estratos que buzan en la misma dirección, además de tener valores de buzamiento aproximadamente similares.

Por lo general son considerados localmente como estructuras homoclinales, aquellos flancos de pliegues, que tienen espesores demasiado grandes, de manera que la extensión de su a floramiento cubre áreas extensas, que sobrepasan el orden del kilometro. En las fotografías aéreas, la identificación de este tipo de estructuras es más rapida y sencilla, no solo por la identificación del rumbo y buzamiento, sino las geoformas que en este tipo de estructuras se pueden desarrollar, por la acción de la erosión diferencial. (Modelos estereoscópicos 32, 31, 36, 38, 46 y 47).

13.3.3 **Interferencia de estructuras** Las fotografías aéreas y las imagenes de satélite, permiten visualizar con mayor facilidad la presencia de modelos de interferencia de pliegues, como los que ocurren en la región andina del territorio boliviano, caracterizada por varia fases o deformaciones separadas por grandes intérvalos de tiempo, como la ocurrida en el paleozoico seguida por la del mesozoico, o en otros casos corresponden a periodos dentro la misma deformación.

En los casos mencionados, se puede observar en las fotografías áereas e imágenes, la presencia de pliegues sobrepuestos sobre los plegamientos anteriores del paleozoico. (Modelos estereoscópicos 49, 86, 88, 89, 90, 98, 21, imagen de satélite, fotos 1.3 - 13.1 y figura 13.23, mapa geológico), en los cuales es posible identificar las relaciones angulares entre los ejes geométricos de los primeros pliegues y los ejes cinemáticos de los segundos pliegues, entre la dirección de los ejes de pliegues, la orientación de las superficies axiales, etc.

13.3.4 **Ajuste de las geoformas al control ejercido por las estructuras plegadas** Las estructuras plegadas, al ser expuestas en la superficie, son sometidas a la acción de los diferentes tipos de erosión, dando lugar a una secuencia de formas, que teóricamente se desarrollan de acuerdo al estado de su evolución geomórfica dentro del concepto del ciclo geomórfico fluvial. Al analizar la mayoria de las regiones asociadas con estructuras plegadas, se colige que ellas pasaron por varios ciclos de erosíon, por lo que generalmente corresponden a paisajes multiciclicos.

El ajuste del relieve al control ejercido por las estructuras plegadas, es muy marcado en la etapa de madurez, razón por la cual, las geoformas que pueden dar información sobre el tipo de roca y plegamiento, son precisamente las desarrolladas durante esa etapa del ciclo geomórfico fluvial.

Seis son las expresiones geomórficas más comunes, que reflejan el control ejercido por las estructuras plegadas en el relieve. Ellas son las siguientes:

Serrania anticlinal

Serrania sinclinal

Serrania homoclinal

Valle anticlinal

Valle sinclinal

Valle homoclinal

- **Serranía anticlinal** Son serranias que por efecto de la erosión diferencial, se desarrollan a lo largo del eje anticlinal, caracterizado porque los estratos de los niveles superiores de esta estructura está constituido por rocas más resistente a la erosión, razón por la cual se produce esa coincidencia entre el eje del pliegue y la cresta de la serrania. (Figura 13.17)

  Bajo ciertas consideraciones teóricas se podría asumir que este tipo de relieve corresponde al **relieve normal** ya que se supone que en la etapa inicial de todo plegamiento, las estructuras anticlinales, deben desarrollar serranias anticlinales. Sin embargo para llegar a una conclusión definitiva, es necesario un ánalisis más detallado sobre las complicaciones en el desarrollo de un paisaje, que escapa a los propósitos del texto. Determinar si el tipo de relieve es normal, es importante en estudios geomorfológicos de detalle y relacionados con la historia geomórfica de una región.

  Las serranias anticlinales, generalmente son redondeadas, y en los sectores donde los pliegues se hunden su expresión es más parecida a la de una montaña también de forma redondeada. (Modelos estereoscópicos 14, 23, 34)

- **Valle anticlinal** Es un valle desarrollado en el núcleo de un anticlinal a lo largo de su eje. Este modelo corresponderia a un ejemplo de inversión de relieve. (Figura 13.17, modelo estereoscópico 83,

- **Serranía sinclinal** Es una serrania que coincide con el eje de la estructura y se desarrolla porque las rocas del núcleo son más resistentes a la erosión que las ubicadas en los flancos. La forma de las serranias sinclinales es muy diferente a la de las serranias anticlinales. Generalmente son alargadas y estrechas, en forma de bateas con pendientes abruptas, muy similares a escarpes. (Figura 13.17, Modelos estereoscópicos 20, 35, 37 y 42)

- **Valle sinclinal** Se desarrolla a lo largo del eje del sinclinal, sobre rocas muy fácilmente erodables del núcleo de la estructura. (Figura 13.17. Modelos estereoscópicos 4, 19, 37, 42 y 86).

- **Serranias homoclinales** Se desarrollan en estructuras homoclinales, constituidas por una alternancia de rocas, con valores de buzamientos aproximadamente similares, que buzan en la misma dirección. Debido a la resistencia variada a la erosión y meteorización, de la indicada alternancia de rocas, se desarrollan en los estratos más resistentes a la erosión, serranias alineadas con el rumbo de los estratos, en las que sus laderas o taludes coinciden con el buzamiento de los estratos, que individualmente pueden formar dip slopes o pendientes estructurales. (Modelos estereoscópicos 32, 33, 34, 35, 36, 38, 42, 46, 47, 56, 87, 4, 19, 20, 25, 28 y 31, Figuras 13.17 y 13.4f)

- **Valles Homoclinales** Los valles que alternan con las serranias homoclinales, se denominan valles homoclinales. (Figuras 13.17 y 13.4f, modelos estereoscópicos 32, 33, 34, 35, 36, 38, 46, 56, 87, 4, 20, 25, 28)

Las geoformas anteriormente descritas son de gran utilidad para el fotogeólogo, ya que con la ayuda de dicho relieve es posible identificar pliegues sinclinales y anticlinales, además de determinar rumbos y buzamientos en las fotografías aéreas.

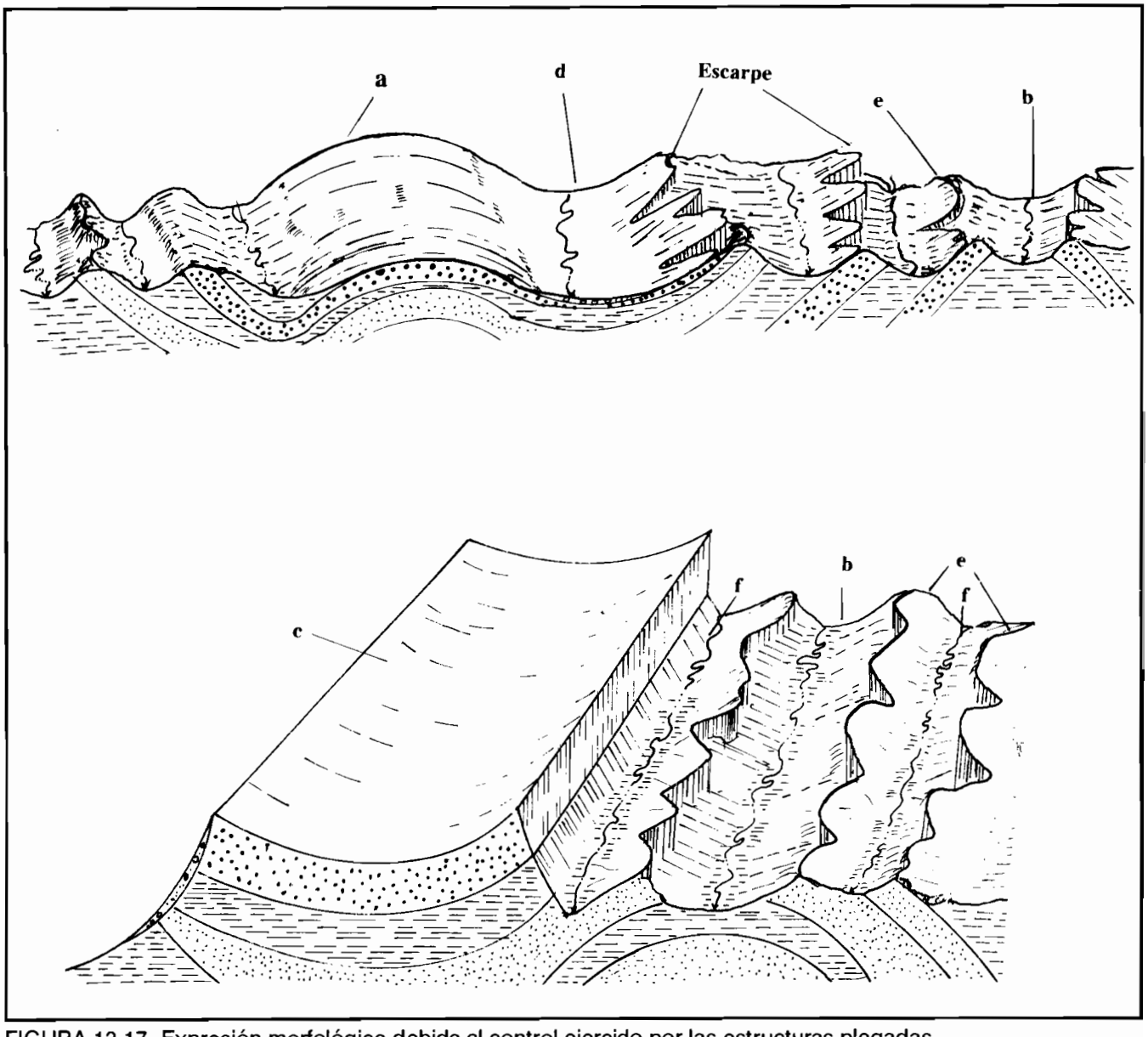


FIGURA 13.17 Expresión morfológica debida al control ejercido por las estructuras plegadas.
a) Serranía anticlinal. b) Valle anticlinal.
c) Serranía sinclinal . d) Valle sinclinal
e) Serranía homoclinal. f) Valle homoclinal

Para este propósito se utilizan los siguientes criterios:

a) Las serranias homoclinales se hallan constituidas por dos elementos básicos:

- Un escarpe vertical que mira en dirección opuesta al buzamiento del estrato. (Figuras 13.17 y 13.4f)

- Una pendiente muy suave que coincide con el buzamiento. (Figuras 13.17 y 13.4f)

Estos elementos son utilizados como criterios en la foto aérea para determinar el buzamiento, que siempre será en la dirección opuesta al escarpe de la serrania. (Modelos estereoscópicos 4, 20, 32 y 35)

b) Si los escarpes de dos serranias homoclinales, se hallan orientados de tal manera que se miren entre entre si y hacia adentro, sugieren la presencia de una estructura anticlinal ubicada entre las indicadas serranias. (Modelos estereoscópicos 28, 33, 34, 42, 50 y Figura 13.17)

c) Si los escarpes de dos serranias homoclinales, se hallan orientados de tal manera que miran hacia afuera, sugieren la presencia de una estructura sinclinal entre las indicadas serranías. (Modelos estereoscópicos 4, 9, 20, 28, 35, 37, 42 y Figura 13.17)

d) El diseño de drenaje asociado a este tipo de relieve es el parrilla, que puede ayudar en la identificación de estructuras plegadas. Mayores consideraciones sobre este tipo de drenaje se hallan dadas en el capitulo VII.

13.3.5 **Simbologia fotogeológica** Para anotar en las fotografías aéreas los pliegues identificados, es necesario utilizar simbolos, que seán de fácil representación e interpretación.

De acuerdo a los objetivos, por los que se realiza el estudio fotogeológico, cierto tipo de pliegues, pueden ser más importante que otros. Por ejemplo, en geología del petroleo es más importante la identificación detallada de estructuras anticlinales que las sinclinales, por lo tanto en un estudio fotogeológico, para este propósito es muy importante que dicho rasgo geológico resalte sobre otro tipo de información, en ese caso los ejes de los pliegues anticlinales son marcados con color rojo mientras que los ejes sinclinales pueden ser anotados de color negro.

Por el contrario, si el propósito es un estudio hidrogeológico, será más importante el reconocimiento de estructuras sinclinales que las de anticlinales. En ese caso, los ejes sinclinales son anotados de color rojo, mientras que los ejes anticlinales son representados de color negro.

Para propósitos de mapeo geológico regional, ambas estructuras tienen la misma importancia, por ello en la simbología presentada ambos pliegues se representan con el color rojo.

SIMBOLOGIA PARA REPRESENTAR PLIEGUES

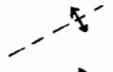
EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS Y MAPAS FOTOGEOLOGICOS

COLOR ROJO

Eje de Anticlinal



a) Observado



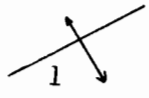
b)Inferido



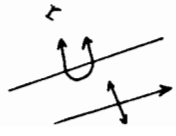
c) Cubierto



e) Pliegue menor

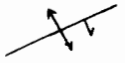


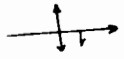
Eje anticlinal asimétrico. El flanco de mayor buzamiento, se representa por la flecha de mayor longitud (l)

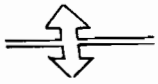


Eje anticlinal volcado. El flanco normal se representa por la flecha recta (r)

Eje de Anticlinal con hundimiento


Eje de Anticlinal con dirección de la inclinación del plano axial o superficie axial


Eje de anticlinal con hundimiento y dirección de inclinación del plano axial


Anticlinorio con eje regional del pliegue


Domo Anticlinal


Area con marcada presencia de repliegues

Eje de Sinclinal


a) Observado


b) Inferido


c) Cubierto


e) Pliegue menor



Eje Sinclinal asimétrico. El flanco de mayor buzamiento, se representa por la flecha de mayor longitud (l)

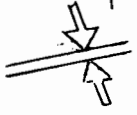


Eje Sinclinal volcado. El flanco normal se representa por la flecha recta (r) r


Eje de Sinclinal con hundimiento


Eje de Sinclinal con dirección de la inclinación del plano axial o Superficie axial


Eje de Sinclinal con hundimiento y dirección de inclinación del plano axial


Sinclinorio con eje regional del pliegue


Cubeta sinclinal

13.3.6 **Identificación de fallas en las fotografías aéreas .-** La identificación de fallas en las fotografías aéreas, se basa fundamentalmente en el uso de criterios geomorfológicos, estratigráficos y estructurales.

Una **Falla**, es definida como una fractura a lo largo de la cual se desplazan los dos bloques separados por dicha fractura. El desplazamiento que se produce entre los bloques, puede variar desde unos pocos mílimetros hasta decenas de kilómetros. Si existe una zona caracterizada por innumerables superficies de falla dispuestas en forma paralela con un espaciamiento muy estrecho, se utiliza el término **Zona de falla** para referirse a este tipo de rasgo geológico.

Cuando los desplazamientos son muy pequeños, a veces se prefiere emplear el término **Fractura**, en vez de falla.

El término **Diaclasa** es utilizado para referirse a aquellas fracturas cuyo desplazamiento es nulo o imperceptible.

Si la fractura muestra una separación mayor a los 20 cm sin desplazamiento de los bloques, se la denomina **Fisura**.

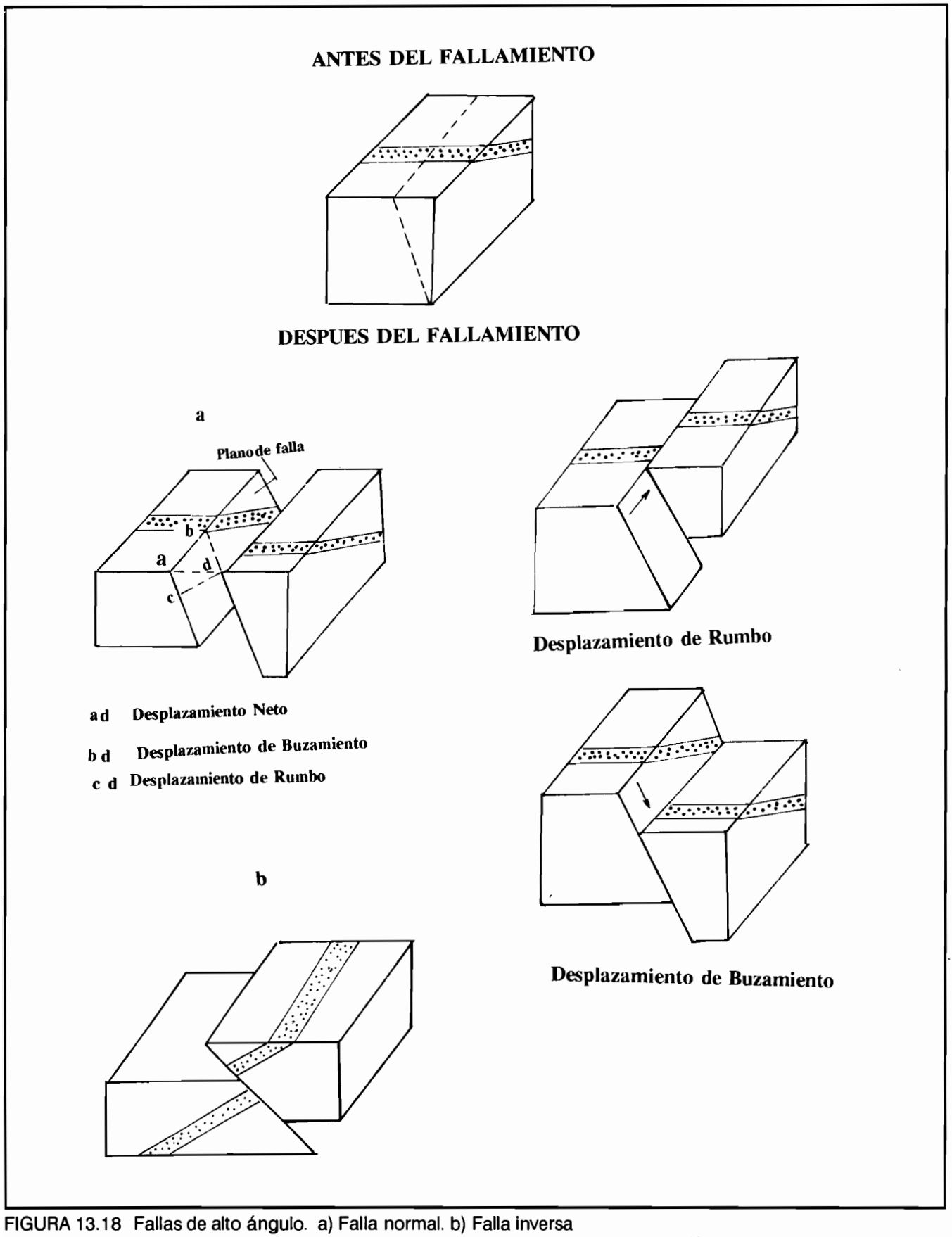


FIGURA 13.18 Fallas de alto ángulo. a) Falla normal. b) Falla inversa
Desplazamiento neto: Desplazamiento de buzamiento - Desplazamiento de rumbo (Según Billings 1963)

El plano de fractura,a lo largo del cual se produce la ruptura o falla, recibe el nombre de **Plano de Falla**, que puede ser vertical, inclinado a diferentes grados y horizontal.

La orientación de una falla, se la define por el rumbo y buzamiento del plano de falla. En este caso el rumbo del plano de falla, corresponde a la traza de la intersección de dicho plano con un plano horizontal. El buzamiento del plano de falla corresponde al ángulo vertical comprendido entre dicho plano y el plano vertical.

El desplazamiento producido por una falla, indica el movimiento relativo que han sufrido puntos adyacentes, después de haber sido afectados por la falla.

El movimiento total del desplazamiento, o la distancia medida sobre el plano de falla, entre dos puntos anteriormente adyacentes, es denominado **Desplazamiento Neto.**

Generalmente el desplazamiento neto, es descompuesto en dos componentes perpendiculares entre si, denominados **Desplazamiento de Rumbo y Desplazamiento de Buzamiento.**

El desplazamiento de rumbo es medido en forma paralela al rumbo del plano de falla y corresponde a la componente horizontal.

El desplazamiento de buzamiento, corresponde a la componente vertical y es medido en la dirección de buzamiento del plano de falla. (Figura 13.18)

El término y concepto anteriormente definido, no debe ser confundido con los de **Separación y Rechazo.**

El término **Separación** se emplea solamente para referirse al sentido y magnitud del desplazamiento que existe entre dos partes de un horizonte dislocado, a lo largo del plano de falla. En realidad, corresponde al movimiento aparente relativo y es descrito sin considerar el desplazamiento relativo actual. (Figura 13.19)

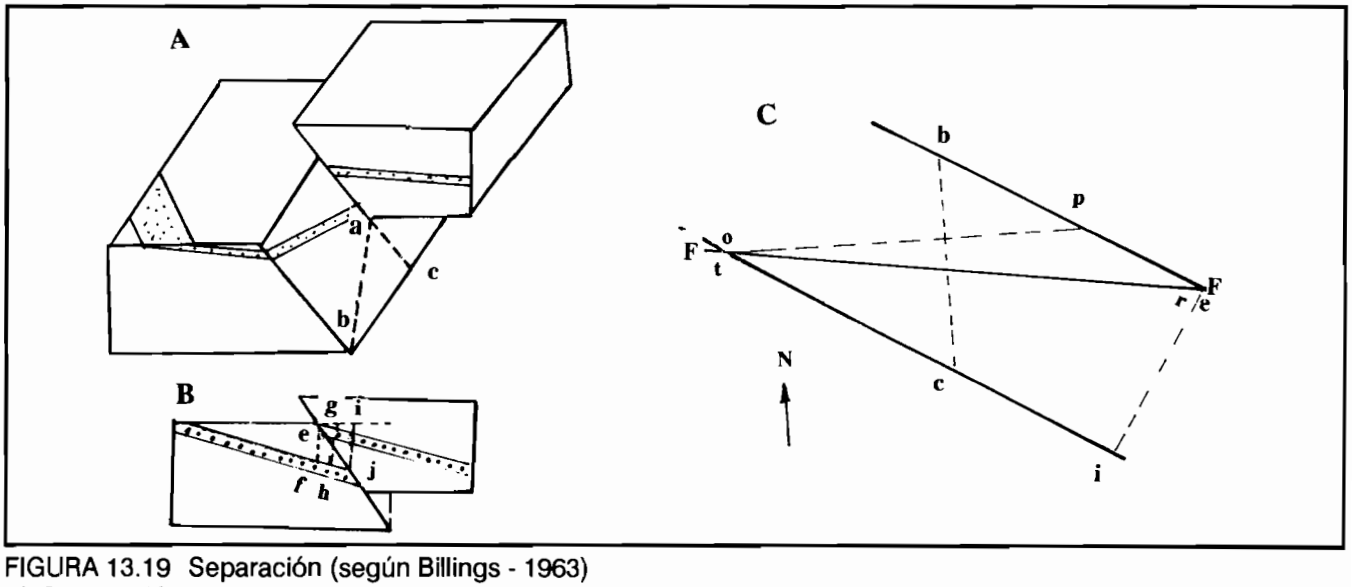


FIGURA 13.19 Separación (según Billings - 1963)
A) Separación representada en un diagrama de bloque: ab = Desplazamiento neto ac = Desplazamiento vertical bc = Desplazamiento horizontal.
B) Perfil perpendicular al rumbo de la falla: ef = gh = Separación vertical ej = Movimiento aparente = Separación de buzamiento ij = Rechazo vertical ei = Rechazo horizontal.
C) Separación representada en un mapa geológico: FF' = Traza de falla bc = Separación horizontal Norte - Sur op = Separación horizontal Este - Oeste tr = Separación de rumbo ei = Rechazo

Se puede medir la separación en sentido vertical u horizontal, por lo que la separación puede ser horizontal o vertical.

El término **Rechazo** corresponde a una medida especial de la **separación** medido en forma perpendicular al rumbo de la falla. El rechazo puede ser vertical u horizontal.

El rechazo vertical o throw corresponde a la componente vertical de la separación en sentido del buzamiento y es el espesor del intérvalo estratigráfico entre dos niveles de estratos, que son puestos en contacto por efecto de la falla (Figura 13.20).

El Rechazo horizontal o heave es la componente horizontal de la separación en sentido del buzamiento. (Figura 13.20)

Los términos que se acaban de describir, necesariamente requieren de mediciones que deben ser realizadas en el campo, como el buzamiento del plano de falla, rumbos, rechazos, desplazamientos, etc, que no pueden ser realizados en las fotografías aéreas y su ánalisis detallado no corresponde a un texto de fotogeología por lo que se recomienda ampliar estos conceptos con la consulta de textos especializados en geología estructural.

Como se indicó anteriormente, las fallas en las fotografías aéreas, son identificadas empleando criterios geomorfológicos, complementados con criterios estructurales y estratigráficos, observables en las fotografías aéreas.

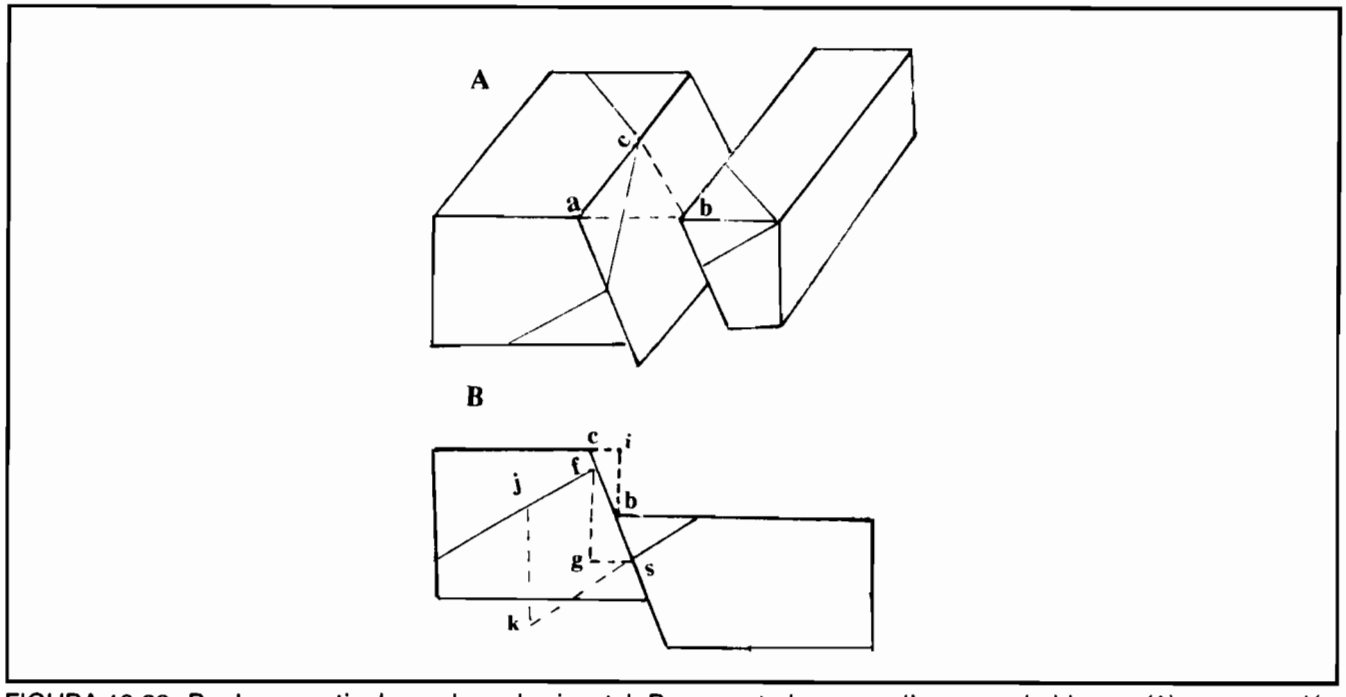


FIGURA 13.20 Rechazo vertical y rechazo horizontal. Representado en un diagrama de bloque (A) y en sección perpendicular al rumbo de la falla (B) (Según Billings - 1963)
ab = Desplazamiento neto ac = Desplazamiento de rumbo cb = Desplazamiento de inclinación
ib = Desplazamiento vertical y según algunos geólogos Rechazo vertical ci = Desplazamiento de inclinación horizontal y según algunos geólogos Rechazo horizontal ef = Movimiento aparente = separación de inclinación
fg = Rechazo vertical gs = Rechazo horizontal jk = Separación vertical.

Los criterios que se utilizan en el terreno, no pueden ser utilizados, cuando se emplean fotografías aéreas, por razón de escala, ya que las dimensiones de las pruebas de fallamiento que se

observan en el terreno, como estrias, espejos de falla, milonitas, pliegues de arrastre, etc, no son identificables a la escala de las fotografías aéreas.

De igual manera, la facilidad en la identificación de los diferentes tipos de falla, se halla en función de las características de la inclinación del plano de falla y del movimiento de las fallas.

Por lo general, las fallas de **Alto Angulo** son las de mejor identificación, que las de **Bajo Angulo**, ya que la expresión morfológica es muy marcada, caracterizada por rasgos lineares. Esto significa, que desde el punto de vista fotogeológico, las fallas para su ánalisis mediante la interpretación de fotografías aéreas, pueden ser agrupadas de acuerdo al buzamiento del plano de falla, en dos grupos:

a) Fallas de Alto ángulo

b) Fallas de Bajo ángulo

Luego del ánalisis general de las fallas de Alto ángulo, complementado con criterios estratigráficos y estructurales en la fotografía aérea será posible definir si ellas corresponden a fallas inversas, normales y de rumbo o desplazamiento horizontal.

Aunque no existe acuerdo sobre los limites que definen o diferencian a fallas de alto ángulo y de bajo ángulo, se considera que una falla de alto ángulo puede tener planos de falla con buzamientos mayores a los 45^{o}.

Por razones de orientación cuando se describen algunas fallas, se utilizarán los términos **longitudinal, transversal y oblícua** para referirse a cualquier tipo de falla de alto ángulo y bajo ángulo, que se hallen orientados en forma paralela, transversal y oblicua al rumbo general de la estratificación de la estructura fallada.

La expresión morfológica más importante de las fallas de alto ángulo, sean normales o inversas, es el **Escarpe de Falla.**

Un **Escarpe de Falla** es una cara vertical desarrollada a consecuencia de fallamiento, que coincide con el plano de falla. La altura de dicho escarpe es muy variable, desde unos cuantos metros hasta cientos de metros. (Figura 13.21)

Por la acción posterior de la meteorización, remosión en masa y la erosión sobre los escarpes de falla y la linea de falla, los escarpes son modificados en su posición, orientación y altura. Entre los más importantes se pueden señalar a los siguientes:

a) Escarpes de linea de falla

b) Escarpes de linea de falla resecuentes

c) Escarpes de linea de falla obsecuentes

d) Escarpes compuestos

e) Escarpes de linea de falla resurrectos

f) Escarpes de falla resurrectos

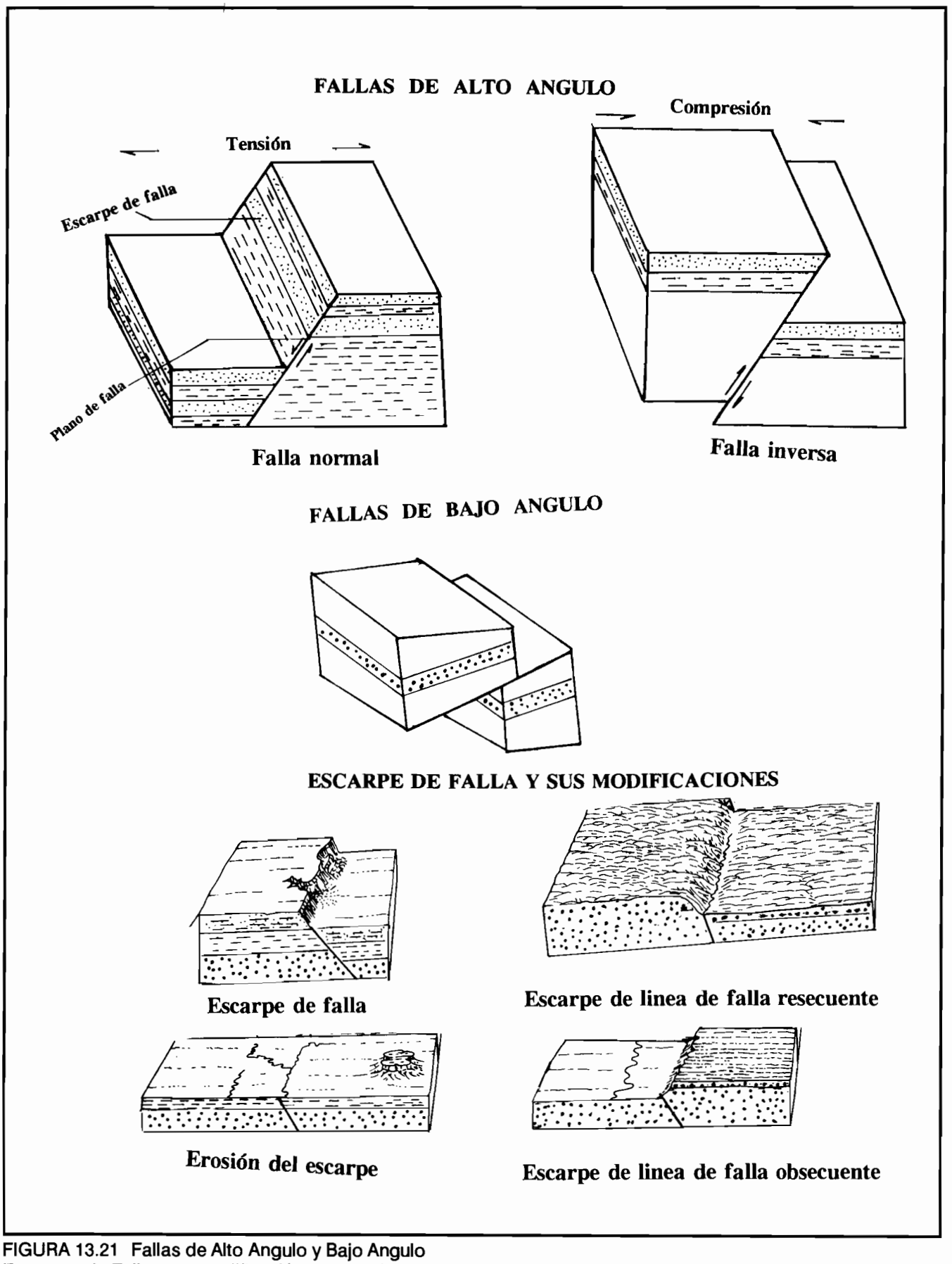


FIGURA 13.21 Fallas de Alto Angulo y Bajo Angulo
Escarpes de Falla y su modificación por acción de los diferentes procesos de erosión, meteorización y remoción en masa. Escarpes de línea de falla resecuentes y obsecuentes.

Escarpe de linea de falla Es un escarpe que se produce por erosión diferencial a lo largo de la linea de falla, debido a la presencia de rocas de diferente resistencia ubicadas en ambos lados de la linea de falla, correspondiendo a ciclos posteriores de erosión en relación a los escarpes de falla.

Si el escarpe de linea de falla mira en la misma dirección que el escarpe original, se denomina **escarpe de linea de falla resecuente**. En ese caso la roca más resistente a la erosión se halla en el lado levantado de la falla y por encima del nuevo nivel de base, mientras que la roca más suave, se halla en el lado hundido; la erosión actuará sobre el lado ascendido de la falla original, de manera que el nuevo escarpe tendrá la misma posición que la del escarpe original. (Figura 13.21)

Todo lo contrario, ocurre cuando se desarrolla un **escarpe de linea de falla obsecuente**, de manera que el nuevo escarpe mira en dirección opuesta a la del escarpe original. (Figura 13.21).

La mayoría de los textos de geomorfología y geología estructural, describen las diferentes características y criterios para identificar y diferenciar los escarpes nombrados. Entre los más importantes se hallan los siguientes:

a) Entre las características propias, que permiten la identificación de los escarpes de falla y su diferenciación con los escarpes de linea de falla, se puede citar a las siguientes:

   - Falta de correspondencia entre la dureza de la roca y el escarpe. Esto significa que en el momento de la falla, si el bloque ascendido de la falla, se halla constituido por una roca muy blanda, a pesar de su poca resistencia, formará un escarpe, que posteriormente podrá ser rapidamente destruido.

   - Presencia de conos aluviales pequeños, de gradientes empinadas, alineados a lo largo de la base del escarpe.

   - Desplazamiento de superficies de erosión anteriores al fallamiento.

   - Presencia de coladas de lava posteriores al fallamiento, ubicadas en ambos lados de la falla.

   - Presencia de caracteres de Rift a lo largo del escarpe.

   - Presencia de lagos y lagunas en la base del escarpe.

   - Desplazamiento de depósitos de edad muy reciente, como los de origen aluvial o glacial.

b) Los caracteres que son propios de un escarpe de linea de falla y permiten su diferenciación con los escarpes de falla, son los siguientes:

   - Correspondencia entre la dureza de la roca y el escarpe. En este caso, los escarpes por lo general se hallan desarrollados sobre rocas resistentes a la erosión, lo que puede sugerir que la mayoría de los escarpes que presentan esa característica, podrían pertenecer a este tipo de escarpes, ya sean obsecuentes o resecuentes.

   - La expresión morfológica de la traza de la falla, no es muy marcada.

A pesar de los criterios descritos, la diferenciación entre un escarpe de falla y un escarpe de linea de falla, no es sencilla y en ciertos casos es imposible, por ello cuando se interpretan fotografías aéreas con este propósito, se debe en primer instancia identificar al escarpe, en base a características que son comunes a ambos tipos de escarpes. Estas características son las siguientes:

- La forma del escarpe, caracterizada por una cara vertical que desarrolla un frente abrupto, a lo largo de la zona de falla. (Modelo estereoscópico 67)

- Presencia de facetas triangulares, con el ápice apuntando hacia arriba o facetas trapezoidales desarrolladas en el frente del escarpe, cuando ha sido sometido a la acción de la erosión. Generalmente la inclinación de las facetas triángulares es menor al buzamiento original de la falla.

- Alineación muy marcada de la base del escarpe (Modelos estereoscópicos 48, 46 y 61).

- Presencia de un sistema de valles colgantes.

Existen muchos criterios para identificar fallas en las fotografías aéreas. Estos criterios en algunos casos utilizados en forma aislada, pueden ser suficientes para determinar la existencia de una falla. En otros casos se requiere del empleo de dos o más criterios para el mismo propósito. A continuación se presentan los criterios más utilizados en la identificación de fallas en las fotografías aéreas.

1) **Desplazamiento transversal u oblícuo de un estrato o estratos.** Por lo general es común en rocas fragiles y competentes como areniscas o calizas ubicadas en el nivel estructural superior, en el cual el mecanismo dominante es el cizallamiento y por lo tanto pertenece al dominio de las fallas (Modelos estereoscópicos 4, 19, 25, 40, 42, 47, 63, 64, 83, 88, 90 y 93)

2) **Presencia de litología diferente en ambos lados de la linea de falla.** Este criterio es más sólido, si además se apoya en criterios estratigráficos, que permiten definir la posición estratigráfica de los dos tipos de litología, por lo que es también necesario determinar el rumbo y buzamiento de esas rocas. (Modelos estereoscópicos 10, 62, 64, 73, 88 y 90)

3) **Truncamiento y convergencia de estratos.** De igual manera la posición estratigráfica y la identificación del rumbo y buzamiento de estratos a ambos lados de la falla, pueden dar mayores elementos de juicio cuando se emplea este criterio, para poder diferenciarlo de una discordancia. (Modelos estereoscópicos 64, 88, 89, 90, 95 y 27)

4) **Interrupción de estructuras** y **discontinuidad de estructuras** Este criterio debe ser manejado con cuidado, ya que discordancias y contactos con cuerpos intrusivos, presentan características muy similares. (Modelos estereoscópicos 15, 27, 31, 56, 63, 73, 85, 87 y 90)

5) **Repetición y omisión de estratos** La identificación de estratos que se repiten en una secuencia estratigráfica o la ausencia de estratos, permiten al fotogeólogo inferir algunas posibilidades sobre las características y el tipo de falla que afectan a estructuras. Si se trata de estratos horizontales, la falla normal puede producir omisión de estratos, mientra que las fallas inversas darán lugar a la repetición de estratos.

Si se trata de una serie homoclinal, afectada por una falla normal longitudinal, se produce repetición de estratos, cuya expresión morfológica en el paisaje, corresponde a una alternancia de serranias y valles homoclinales.

6) **Desplazamiento axial de estructuras, con descenso o levantamiento de la nariz del pliegue, cuando son afectadas por una falla transversal** En las fotografías aéreas es posible establecer cual de los bloques ubicados a ambos de la falla han sido desplazados hacia arriba o hacia abajo, mediante la relación que se aprecia entre el ensanchamiento aparente que muestran los flancos del pliegue de un bloque fallado, comparado con su continuación en el otro bloque, en el que se observa el cierre del pliegue.

De acuerdo a estas consideraciones, cuatro son las relaciones que se pueden establecer y ellas son:

a) Si los flancos de un anticlinal muestran un ensanchamiento aparente menor, que los flancos del bloque donde se halla el cierre del anticlinal, sugiere al fotogeólogo que el bloque fallado en el que se halla el cierre anticlinal, ha sido desplazado hacia arriba, mientras que el otro bloque ha sido desplazado hacia bajo. (Figura 13.22.a)

b) Si los flancos de un sinclinal muestran un ensanchamiento aparente menor, que los flancos del bloque donde se halla el cierre del sinclinal, sugiere al fotogeólogo que el bloque fallado en el que se halla el cierre sinclinal, ha sido desplazado hacia abajo, mientras que el otro bloque ha sido desplazado hacia arriba. (Figura 13.22.b)

c) Si los flancos de un sinclinal muestran un ensanchamiento aparente mayor, que los flancos del bloque donde se halla el cierre del sinclinal, sugiere al fotogeólogo que el bloque fallado en el que se halla el cierre sinclinal, ha sido desplazado hacia arriba, mientras que el otro bloque ha sido desplazado hacia abajo. (Figura 13.22.c y modelo estereoscópico 42, 19)

d) Si los flancos de un anticlinal muestran un ensanchamiento aparente mayor, que los flancos del bloque donde se halla el cierre del anticlinal, sugiere al fotogeólogo que el bloque fallado en el que se halla el cierre anticlinal, ha sido desplazado hacia abajo, mientras que el otro bloque ha sido desplazado hacia arriba. (Figura 13.22.d, Modelo estereoscópico 87)

7) **Arreglos lineares de cuerpos ígneos** Puede tratarse de la alineación de conos volcánicos, pequeños cuerpos intrusivos como pequeños stocks, etc.

8) **Arreglos lineares de pequeños conos aluviales** Fallas recientes pueden desarrollar pequeños conos aluviales, que se hallan alineados a lo largo del frente de una falla.(Modelo estereoscópico 60)

9) Los signos más obvios de la existencia de fallas muy recientes, son la identificación de rasgos culturales disturbados, tales como la ruptura y desplazamientos de caminos, lineas de ferrocarril, etc.

10) Además de la marcada expresión morfológica que caracterizan a las fallas de alto ángulo, los afloramientos de las trazas de este tipo de fallas son marcadamente lineares, que relativamente no son afectadas por el relieve, ni por la cubierta de suelos o vegetación que sobre ella pueda desarrollarse.

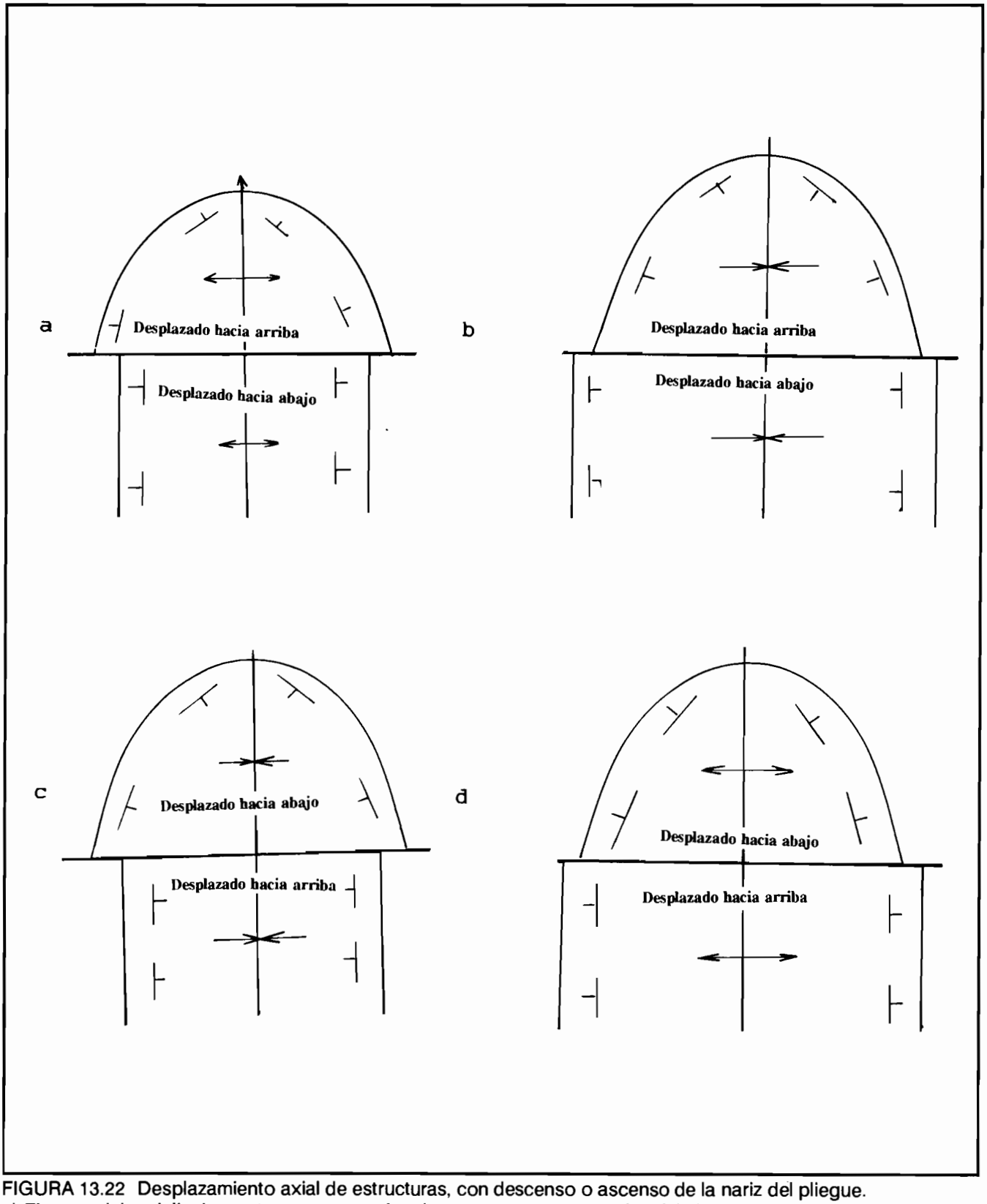


FIGURA 13.22 Desplazamiento axial de estructuras, con descenso o ascenso de la nariz del pliegue.
a) Flancos del anticlinal muestran un ensanchamiento aparente menor a los del cierre.
b) Flancos del sinclinal muestran un ensanchamiento aparente menor a los del cierre.
c) Flancos del sinclinal muestran un ensanchamiento aparente mayor a los del cierre.
d) Flancos del anticlinal muestran un ensanchamiento aparente mayor a los del cierre.
(Modificado de Thornbury W.A. 1960)

Estos alineamientos en la fotografía aérea son identificados por la asociación que tienen con rasgos topográficos, de drenaje, de vegetación, de tono.

Entre ellos se puede señalar a los siguientes:

a) **Alineamientos de segmentos de ríos** La identificación de fallas, en áreas de afloramiento de rocas arcillosas de gran extensión es muy difícil, por el carácter homogéneo de este tipo de rocas. En esas condiciones la presencia de segmentos de rios alineados, constituyen un importante criterio para la identificación de fallas. (Figura 7.38, Modelos estereoscópicos 5, 7, 26, 48, 61, 62 y 65)

b) **Alineamiento del curso de un solo río** Este criterio debe ser empleado con cuidado, ya que existen muchos rios que tienen esta caracteristica, pero su origen no tiene ninguna relación con fallamiento y solo es consecuencia de la activa erosión del rio sobre rocas de resistencia variada a la erosión diferencial. Esto es muy común en el diseño de drenaje parrilla, en el que los rios subsecuentes, tienen ese característico alineamiento. Los ríos que muestran alineamiento debido al control por fallamiento, generalmente se hallan asociados con otros rasgos asociados al fallamiento, tales como escarpes, truncamiento de estratos, etc. (Modelos estereoscópicos 49, 62, 63, 64, 73 y 93)

c) **Alineamientos mixtos** En las fotografías aéreas se observan algunos alineamientos que son el resultado de la combinación de rasgos lineares topográficos, tonales, de drenaje y vegetación, de longitudes que sobrepasan en algunos casos el orden del kilómetro, razón por la cual, una sola fotografía aérea no es suficiente para apreciar este tipo de rasgos lineares.

Con el advenimiento de la era de los satélites, las imágenes de satélite, se convierten en la más poderosa herramienta, para detectar este tipo de rasgos lineares, que tienen mucho que ver con fracturas profundas de la corteza terrestre y que mediante el análisis tectónico puede tener gran significado económico.

Por estas razones se discutirá en forma separada el nuevo concepto que encierra el término **Lineamiento.**

Entre los ejemplos de alineamientos mixtos que pueden ser observados en las fotografías aéreas, se hallan los que son el resultado de la combinación de rasgos topográficos (quiebre de pendientes), de drenaje y tonales. (Modelos estereoscópicos 5, 27, 47, 55, 61, 62 63, 64, 66 y 94)

11) En áreas afectadas por varios sistemas de fallas, los diseños de drenaje pueden estar controlados por el indicado sistema de fallas, dando lugar a diseños de drenaje modificados como el diseño de drenaje parrilla de Fallas, caracterizado porque las fallas son longitudinales, casi paralelas al rumbo de la estructura, desarrollando rios longitudinales subsecuentes controlados por las fallas.

Otro diseño de drenaje que puede sugerir la presencia de un sistema de fallas es el rectangular.

12) La **Angularidad** de un rio o el cambio abrupto de la dirección normal que sigue el curso

de un rio, puede sugerir la presencia de una falla. (Modelos estereoscópicos 42,43,44,45 y 46)

Existen algunos paisajes que en conjunto reflejan un determinado estilo tectónico asociado a un sistema de fallas. Sistemas de fallas normales, dan lugar al desarrollo de un paisaje de pilares y fosas tectónicas (Horst y Graben), caracterizado porque los buzamientos de las fallas que separan los bloques hundidos y levantados, son opuestos en dirección. Si las fallas normales tienen el mismo buzamiento, se desarrolla un paisaje con un relieve menos pronunciado que el anterior y en el puede predominar los pilares o las fosas de acuerdo al predominio del hundimiento o del levantamiento. (Modelos estereoscópicos 94).

Si los rechazos de las fallas son pequeños, las fosas y pilares tendran dimensiones también pequeñas.

Fallas horizontales o de rumbo Son fallas en las que el movimiento efectuado por un bloque con respecto al otro es horizontal, se caracterizan por que la longitud del desplazamientos de los bloques pueden ser de dimensiones de centenas de kilómetros como el de la Falla de San Andrés, o ser de desplazamientos muy pequeños, hasta del orden de fracción de metro.

La identificación de estas fallas es muy importante, ya que se considera que la gran mayoria de los accidentes tectónicos se hallan asociados con este tipo de fallas.

Aunque la identificación definitiva de estas fallas requiere de trabajo de campo, es posible su identificación en las fotografías aéreas e imagenes de satélite, porque en ellas su reconocimiento se basa en la identificación de alineamientos que son muy marcados, que como ya se indicó necesariamente requieren de trabajo de campo para su confirmación como tal, además para poder clasificarlas como sinistrales o dextrales.

Muchas de las fallas que en la actualidad han sido descritas como inversas o normales, puede ser que correspondan a este tipo de fallas, esto debido a que recientes investigaciones están demostrando que las fallas de rumbo son más comunes de lo que se piensa. Por ello,es conveniente realizar una reinterpretación de la mayoria de los sistemas de fallas. (Modelos estereoscópicos 10, 26, 27, 33, 34, 49, 73 y 95)

Fallas de bajo ángulo La identificación de este tipo de fallas de bajo ángulo, como las de sobreescurrimiento, es muy dificil.

Como método para poder inferir la existencia de estas fallas, se recomienda acumular e integrar los datos observados en las fotografías aéreas, para luego complementarlos necesariamente con criterios especialmente estratigráficos.

13.3.7 **Diaclasamiento** Al igual que las fallas de alto ángulo, solamente las diaclasas con planos de diaclasamiento verticales o de ángulos altos, pueden ser identificadas en las fotografías aéreas, por la expresión linear que ellas muestran en su registro fotográfico.

Generalmente,a lo largo de los planos de diaclasamiento, se acomodan cursos de rios, lineas de vegetación, surcos o trincheras de erosión, que complementados con diferencias tonales y texturales constituyen guias para su mejor identificación.

En una alternancia de rocas competentes e incompetentes, el diaclasamiento será más acentuado en las rocas competentes, mientras que en las incompetentes el diaclasamiento es mínimo y en la mayoría de los caso se hallan ausentes. En ese caso el diaclasamiento es utilizado en fotogeología como un criterio para identificar o diferenciar diferentes tipos de rocas.

Los diferentes tipos de rocas, pueden ser diferenciados en la fotografía aérea, en base a la orientacion y características que muestra un determinado sistema de diaclasas. Este criterio permite de manera general, asociar sistemas de diaclasas con los diferentes tipos de rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. (Modelos estereoscópicos 75 y 76)

Diaclasamiento en rocas sedimentarias El diaclasamiento que se observa en las fotografías aéreas, corresponde a aquellas diaclasas que se hallan orientadas en dos direcciones casí perpendiculares entre si. Ello en nigún momento significa, que el diaclasamiento en las rocas sedimentarias solo sea en dos direcciones, ya que en el terreno es posible observar sistemas de diaclasas que tienen más de dos direcciones. Por razones relacionadas con la mayor acentuación de las diaclasas en dos direcciones, debido posiblemente a sus longitudes, ensanchamiento profundidad, es que su registro en las fotografías aéreas seá más notorio, en dos direcciones perpendiculares entre si. Por ello es que en fotogeología, se acepta como un criterio para identificar rocas sedimentarias, la presencia de diaclasamiento en dos direcciones perpendiculares entre si. (Modelos estereoscópicos 13, 14, 65 y 66)

Diaclasamiento en rocas ígneas En el caso de las rocas ígneas, el diaclasamiento es diferente entre las rocas intrusivas y las extrusivas.

En las rocas ígneas intrusivas, el diaclasamiento es desordenado, caótico, con una tendencia dominante en tres direcciones, cuyas intersecciones desarrollan formas triángulares. (Modelos estereoscópicos 75, 104)

Es importante señalar que el espaciamiento o la densidad del diaclasamiento en las diferentes rocas, es una guia que puede servir de ayuda en la diferenciación de rocas ígneas que tengan características y composiciones muy similares.

En las rocas ígneas extrusivas, el modelo de diaclasamiento es similar al desarrollado por las rocas sedimentarias, en especial al de las areniscas. En este caso, es conveniente acudir a otros criterios para evitar errores en la interpretación de esos datos. (Modelos estereoscópicos 54, 71, 105 y 106)

Diaclasamiento en rocas metamórficas Las rocas metamórficas por lo general desarrollan diaclasas cuya orientación es en una sola dirección, por lo que en las fotografías aéreas, se pueden identificar por el marcado subparalelismo que existe entre ellas.

13.3.8 **Lineamientos** Mediante las fotografías aéreas y las imágenes de satélite, es posible observar en la superficie terrestre, rasgos lineares, que sobrepasan el orden del kilómetro, que en la mayoría de los casos reflejan o son la expresión superficial de diferentes tipos de discontinuidades, como fallas, fracturas, diaclasas, contactos litológicos, etc, que constituyen guías muy importantes para entender y conocer la estructura interna de la corteza terrestre, que puede conducir a la aplicación de estos nuevos conceptos, en el estudio de la génesis de depósitos minerales, que en su mayoría se hallan asociados con deformaciónes de la litosfera, de manera que los lineamientos constituyen una herramienta muy importante en la exploración de minerales.

Estos rasgos lineares, llamaron la atención de muchos geólogos desde hace casi cien años, con el advenimiento de la fotografía aérea el ínteres fué aumentando y en el presente con la aplicación de las imágenes de satélite a estudios geológicos. La identificación y mapeo de estos rasgos lineares, ocupa una de las principales prioridades, juntamente con la identificación de zonas de alteración hidrotermal, por su importancia como guía en la exploración de minerales.

Existe una copiosa literatura sobre este tema, que ha dado lugar al uso de muchos términos, que en vez de aclarar conceptos, han provocado mayor confusión, por lo que se prefiere establecer algunas consideraciones sobre los términos que puedan ser más apropiados para su descripción en función de su origen, modo de expresión, tamaño, y uso, cuando se realizan trabajos de investigación relacionados con este tópico.

Hobbs (1911) es uno de los primeros en describir lo que es un Lineamiento, y lo define "Como lineas de significancia en la superficie terrestre" de manera que los consideraba como aquellos rasgos generales rectilineos de la superficie terrestre manifiestos en el paisaje.

Kaiser (1950) define al Lineamiento como "Rasgo linear rectilineo, de al menos varios cientos de pies y comúnmente de muchas millas de largo. Los lineamientos se hallan bien mostrados en las fotografías aéreas y pueden consistir de (1) rasgos lineares topográficos, ya sean fosas o crestas (2) diseños lineares de vegetación; o (3) diseños lineares de textura o color del suelo".

Hills (1953) define al lineamiento "Como parte de un diseño ampliamente distribuido a nivel mundial constituido por rasgos como fallas, fracturas y formas mayores de relieve como margenes continentales y serranias submarinas."

Billings (1963) considera un lineamiento "cualquier linea controlada topográficamente sobre una fotografía aérea y pueden ser producidos por fallas, diaclasas, estratificación, foliación o aún lineación"

Latmann (1958) habla de "Lineamiento fotogeológico" y lo define como "un rasgo linear integrado por alineamientos topográficos, (incluye segmentos rectos de rios), vegetación, o de suelos y tonos, que primariamente son visibles en las fotografías aéreas o mosaicos fotográficos y expresados continuamente por lo menos en una milla, aunque puede ser expresada discontínuamente por muchas millas. Con algunas restricciones en el origen y las dimensiónes (menor a una milla) el término Traza de Fractura puede ser comparable con el de lineamiento"

O'Leary et al. (1978) definen al Lineamiento en un sentido geomorfológico, como un "Rasgo linear simple o compuesto de una superficie, cuyas partes están alineadas en una forma rectilinea o curvilinea, que difiere marcadamente de los diseños de los rasgos adyacentes y presumiblemente reflejan un fenómeno del subsuelo.

Rowan y Lathram, consideran que a pesar de la confusión y la dificultad de clasificar a los lineamientos, es posible establecer que estos rasgos lineares, pueden indicar tres aspectos estructurales escalares diferentes:

a) Pueden indicar el caracter de las estructuras individuales o de grupos locales de estructuras.

b) Indican los rasgos generales de un régimen estructural regional (cadenas de pliegues, plataformas, cuencas)

c) Pueden indicar el control ejercido por los elementos fundamentales tectónicos de la corteza terrestre.

a) En el caso primero, los alineamientos son identificable con facilidad en las fotografías aéreas mientras que en las imágenes de satélite su identificación es más difícil. Generalmente se trata de lineamientos menores a los 10 Km de longitud y se hallan relacionados con la presencia de fracturas, fallas, pliegues, contactos litológicos, de profundidades superficiales desde el punto de vista geológico.

Dichos lineamientos pueden ser simples o compuestos, es decir que en algunos casos, la alineación de un solo rio, o de un solo tono, pueden dar lugar a un alineamiento simple. (Modelos estereoscópicos 48, 49, 62, 63, 64, 73, 91 y 93)

Los alineamientos compuestos son el resultado de la combinación de rasgos topográficos, de drenaje, de tono, vegetación, etc. (Modelos estereoscópicos 5, 27, 47, 55, 61, 65 y 66)

b) En el segundo caso en el que los lineamientos indican los rasgos generales de un régimen estructural regional (cadenas de pliegues, plataformas, cuencas) pueden ser mapeados con relativa facilidad en imagenes de satélite. Las longitudes de dichos lineamientos, varian entre 10 y 200 Km. que en algunos casos, pueden sobrepasar estas dimensiones. (Imágenes satélite: foto 1.3 y 13.1 Potosí).

Este tipo de lineamientos dan información relacionada con la geometría general de los pliegues, fallas y otras estructuras que caracterizan a una cadena plegada, o las diaclasas y otros modelos de estructuras de un área de plataforma y los contactos de unidades litológicas mayores involucrados en el sistema. Los autores consideran que los lineamientos son muy importantes para definir áreas potenciales de mineralización.

Sin embargo, esto requiere de un cuidadoso ánalisis de una serie de elementos y condiciones, para llegar a esa conclusiones.

c) Por ultimo, el grupo de lineamientos que indican elementos tectónicos de la corteza, tienen longitudes mayores a los 200 Km. aúnque generalmente sobrepasan los 1000 Km, por lo tanto se trata de lineamientos que definen limites o contactos entre elementos estructurales muy regionales, por lo que su identificación se la realiza utilizando mosaicos de imagenes de satélite o imagenes de escala muy pequeña.

En la actualidad se esta produciendo imagenes de satélite, con resoluciones y escalas comparables a las de las fotografías aéreas como las del satélite SPOT y Landsat 4 y 5, especialmente las del TM o Thematic Mapper, en las que es posible identificar alineaciones que solo se consideraban como identificables en las fotografías aéreas, de acuerdo a lo anteriormente descrito. Esto significa, que al presente, no es conveniente ceñirse estrictamente en las consideraciones o clasificaciones como las expuestas anteriormente, ya que a medida que se mejora la resolución y las escalas de las imagenes, se van modificando estos conceptos escalares.

Entre algunas conclusiones que se pueden deducir de los lineamientos observables tanto en las fotografías aéreas como en las imagenes de satélite a diferentes escalas y resoluciones se pueden mencionar las siguientes:

- Muchos de los lineamientos parecen ser independientes de las tendencias o rumbos

generales de las estructuras sedimentarias. Algunos son perpendiculares al rumbo general de la estructura regional (Imágenes satélite foto 13.1 - Potosí)

- Los lineamientos por lo general cruzan diferentes regiones morfoestructurales, provincias geológicas o geomorfológicas, así como a rocas de diferente edad.

- Algunos lineamientos pueden ser observados, a pesar de la cubierta de depósitos recientes como los de glaciación.

- La identificación de rasgos lineares pequeños, es importante cuando se debe realizar recomendaciones para la construcción de tuneles, presas, etc.

- Alineamientos de longitudes mayores son criterios importantes en la exploracion de minerales. La interseccion de dos o más direcciones de lineamientos alineados a lo largo de zonas mineralizadas conocidas, debe ser objeto de estudios más detallados y cuidadosos, los que deben ser complementados con otros tipos de estudios, como los de alteración hidrotermal.

- Por lo general, no es posible identificar desplazamientos en los lineamientos de longitudes mayores.

- Muchos investigadores han tratado de establecer algunas valores escalares relacionados con la longitud de estos rasgos lineares. Los valores y las características de esos rasgos lineares son las siguientes:

  Megalineamientos > 500 Km

  Lineamientos largos 100 a 500 Km

  Lineamientos intermedios 100 a 10 Km

  Lineamientos cortos 10 a 1.6 Km

Rasgos circulares Existen ciertos rasgos circulares o casi circulares impresos en el relieve, que también pueden ser observados tanto en las fotografías aéreas como en las imagenes de satélite, debido a las diferentes dimensiones de estos rasgos geológicos. Muchos de esos rasgos pueden ser asociados con crateres volcánicos, calderas volcánicas, domos, impactos de crateres, dolinas, etc. Sin embargo existe ciertos rasgos circulares o semicirculares, que no se hallan asociados con las caracteres antes mencionados, que requieren de un trabajo de detalle en el terreno, para poder explicar su origén. Por ello se remarca la atención que debe ponerse al identificar, este tipo de rasgos, que pueden ser considerados como importantes anomalías geomórficas. (Modelos estereoscópicos 70, 71 y 44)

13.3.9 **Diapiros** La identificación de pliegues diapíricos, en las fotografías aéreas, se realiza por la forma irregular que muestra el afloramiento del diapiro, en relación con los estratos que atraviesa o corta, los que además se hallan disturbados, replegados, truncados, etc. (Modelos estereoscópicos 6 y 30).

Los modelos estereoscópicos mencionados, muestran una alternancia de rocas más o menos competentes e incompetentes, de manera que entre entre ellas se marca una disarmonia, en el que

los estratos incompetentes tienden a plegarse, que en profundidad se va acentuando, hasta que por debajo de ese nivel, el comportamiento de las capas es diferente, este limite generalmente se halla definido por una capa muy plastica de yeso, que asciende a través de fallas en el nucleo, hasta romper las capas superiores del anticlinal, hasta ser expulsados, llegando a perder sus relaciones con la masa principal de yeso.

13.3.10 **Discordancias** La identificación de discordancias en las fotografías aéreas, debe ser realizada con mucho cuidado, ya que ellas pueden ser confundidas con estructuras falladas, especialmente cuando se trata de discordancias ángulares y de erosión.

El conocimiento estratigráfico de la zona, permite al fotogeólogo, contar con mayor elemento de juicio, cuando trabaja con este tipo de estructuras.(Modelos estereoscópicos 13, 27, 32, 41, 45, 49, 56, 71, 72, 88, 89, 90, 94, 95, 98, 99 y 101).

En los modelos estereoscópicos anteriores, algunas de las discordancia, pueden ser facilmente identificables, cuando los estratos sobreyacentes se hallan horizontales, como en los modelos 41, 45, 71, 72, 101. Por el contrario si ambos estratos tienen buzamientos, y no se conoce la secuencia estrátigráfia, la identificación es más dificil, como en el caso de los modelos 13, 27, 32, 49, 56, 88, 89, 90, 94, 95, 98, 99 y 101.

SIMBOLOGIA PARA REPRESENTAR LOS DIFERENTES TIPOS DE FRACTURAS

COLOR VERDE

Falla (Movimiento de los bloques y buzamiento del plano de falla sin determinar)

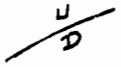


a) observado

b) inferido

c) cubierto

Falla (La posición relativa de los bloques es conocida. Buzamiento del plano de falla desconocido)



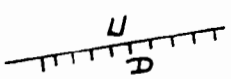
U = Bloque elevado

D = Bloque hundido

Falla (Buzamiento del plano de falla conocido. Los dientes indican la dirección de Buzamiento del plano de falla. La posición relativa de los bloques sin determinar.



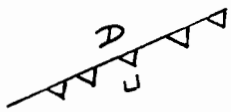
Falla Normal (Los dientes indican la dirección de buzamiento del plano de Falla.)



U = Bloque levantado

D = Bloque hundido

Falla Inversa (Los triángulos indican la dirección de buzamiento del plano de falla.)

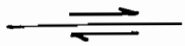


U = Bloque levantado

D = Bloque hundido



Sobreescurrimiento (falla de empuje de bajo ángulo, los triángulos indican la dirección de buzamiento del plano de falla y dirección de empuje).



Falla de desplazamiento horizontal o de rumbo



Diaclasas .(El diente indica la dirección de buzamiento de la diaclasa.)

Diaclasas verticales



Diques

Lineamientos



Diapiros

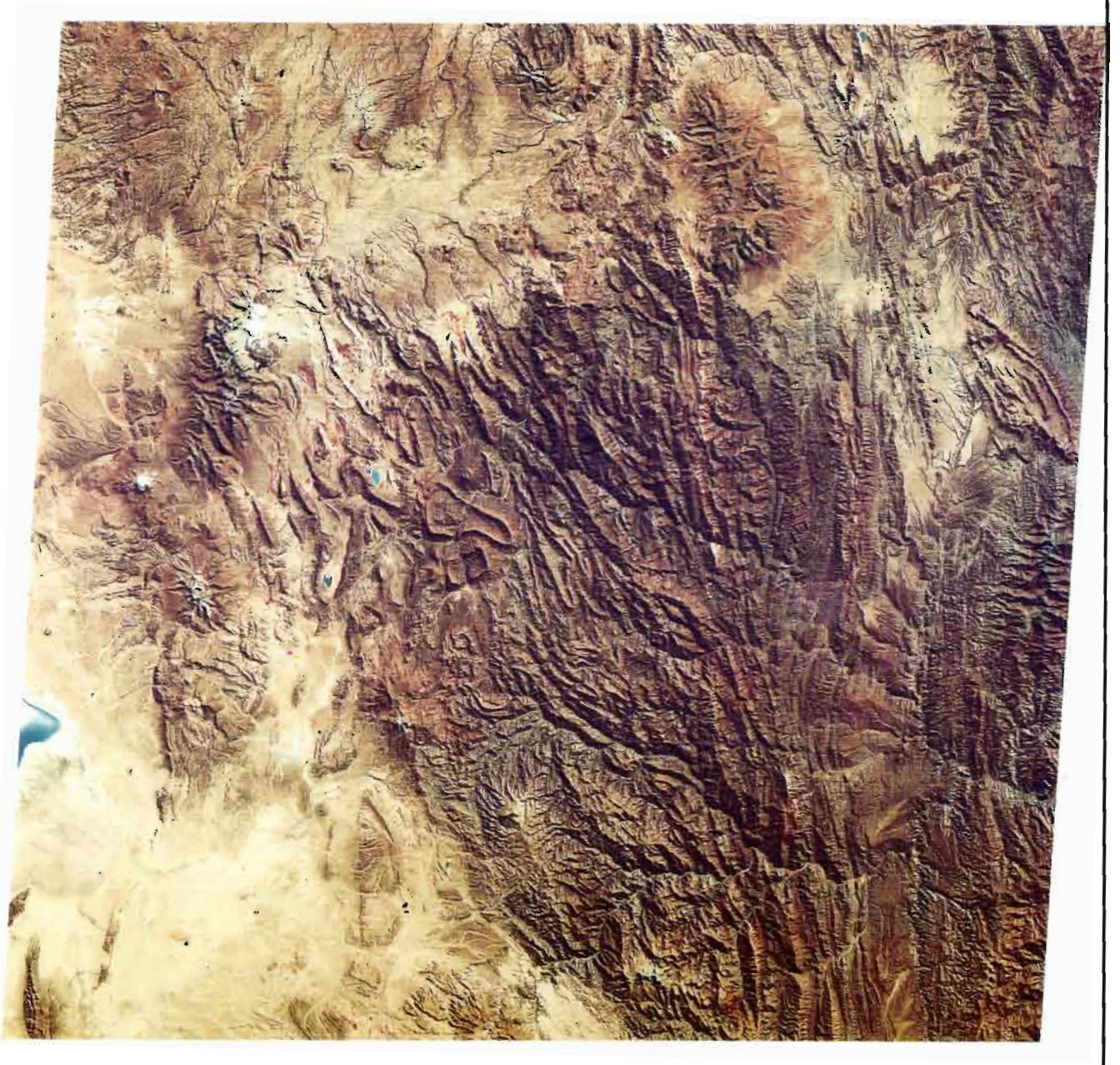


FOTO 13.1 Imagen LANDSAT - Sistema multiespectral (MSS) Infrarrojo color - combinación bandas 4-5 y 7. Area ubicada entre los paralelos 19 ° 25' - 20 ° 50' S y 65 ° 10' - 66 ° 40' W. (Potosí, Tazna, Kari-Kari) comparar con foto 1.3 (Ver mapa geológico figura 13.23 y mapa de ubicación 13.24)

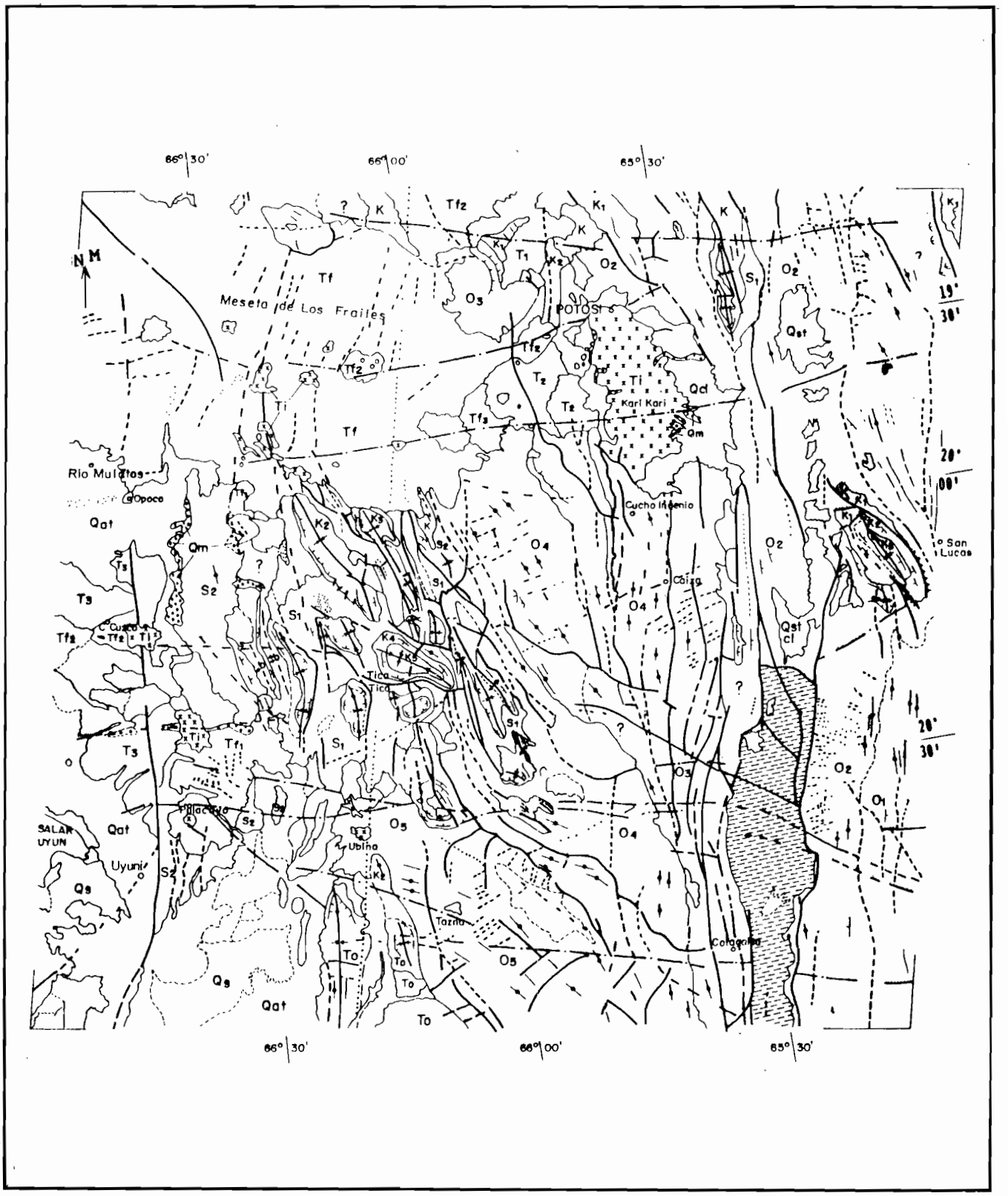


FIGURA 13.23 Interpretación geológica de la imagen de satélite LANDSAT color infrarrojo, bandas 4, 5 y 7 Escala 1:1000000 que corresponde a la foto 13.1 (Area Potosí - Tazna, Kari-Kari). Observe las dos tendencias preponderantes de los lineamientos de dirección NS y EW (Interpretación del autor)

REFERENCIAS: Q = Cuaternario T = Terciario sedimentario y lavas K = Cretácico S = Silúrico O = Ordovicico

= Lineamientos = Ejes de pliegues = Rumbo general de estructura

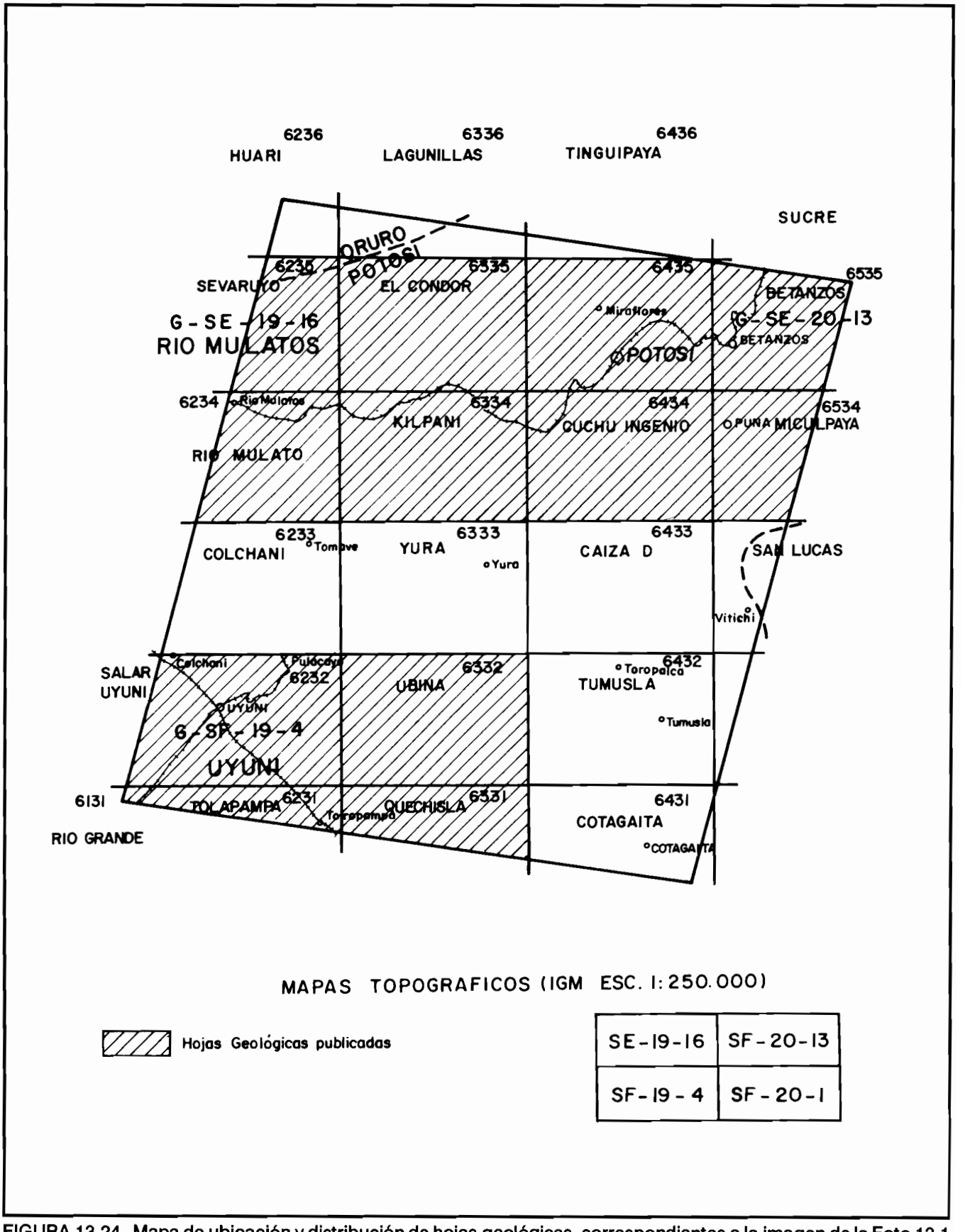


FIGURA 13.24 Mapa de ubicación y distribución de hojas geológicas, correspondientes a la imagen de la Foto 13.1 (Area Potosí - Kari-Kari)

METODOS Y PROCEDIMIENTOS EN EL MAPEO FOTOGEOLOGICO

CAPITULO XIV

14.1 PROCEDIMIENTOS

Cuando se realiza un levantamiento geológico de una determinada región, utilizando fotografías aéreas, el procedimiento que se debe seguir comprende las siguientes etapas:

1) Selección de las fotografías aéreas de la zona a estudiar.
2) Revisión de la bibliográfia sobre las características geológicas de la zona a estudiar
3) Estudio de fotomosaicos e imágenes de satélite a diferentes escalas.
4) Interpretación y anotación en las fotografías aéreas
5) Compilación del mapa fotogeológico preliminar.
6) Revisión del mapa fotogeológico preliminar en el terreno.
7) Trabajo de gabinete: Revisión y corrección de los datos colectados en el terreno.
8) Compilación final del mapa geológico final.
9) Preparación del informe final.

1) **La selección de las fotografías aéreas** de la zona de estudio se la realiza utilizando para ello, mapas índices de vuelo, foto índices.

El **mapa índice** de vuelo, es un mapa en el que se hallan registrados todos aquellos datos, que permiten seleccionar las fotográfias aéreas que cubren el área de estudio. (Figura 14.1).

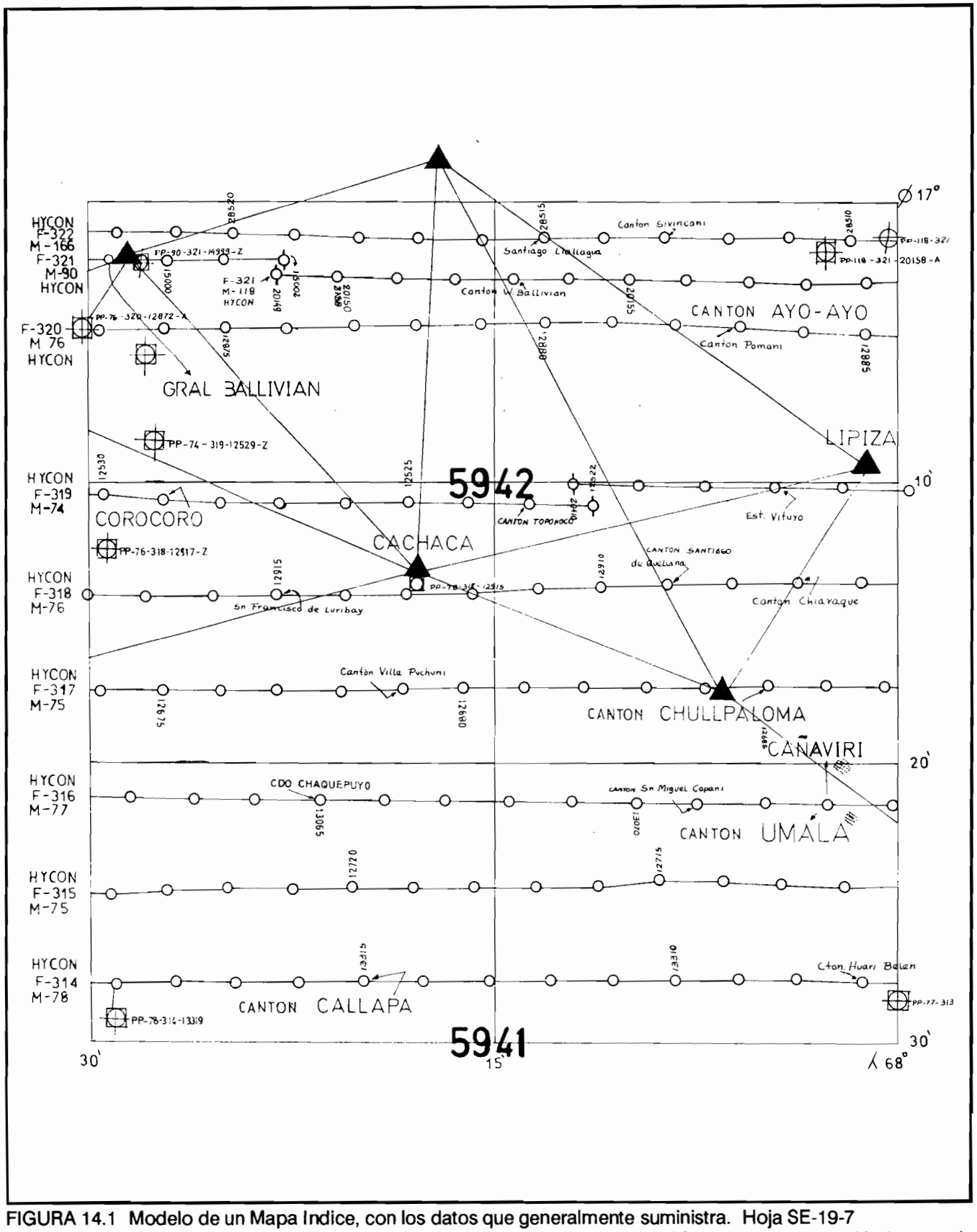


FIGURA 14.1 Modelo de un Mapa Indice, con los datos que generalmente suministra. Hoja SE-19-7
REFERENCIAS: Plan de Vuelo = Hykon M-166 = Misión de vuelo F-322 = Línea de vuelo o = No Fotografía aérea ▲ = Puntos de triangulación 5942 = No de la Hoja topográfica 1:50000 Corocoro = poblaciones 17o = Coordenadas geográficas Hoja-SE-19-7 = distribución de hojas topográficas 1:250000.

Los datos que suministra el mapa índice son los siguientes:

- Nombre del plan de vuelo que cubre el área fotografiada
- Número de las misiones de vuelo, si es que se realizaron vuelos en diferentes periodos del año, en la misma región y en el mismo plan de vuelo.
- Número de líneas de vuelo
- Número de las fotografías aéreas
- Coordenadas geográficas (Longitud y latitud)
- Ubicación de las principales poblaciones, caminos y rios de la zona.

El **Fotoíndice** es un registro fotográfico secuencial de las fotografías aéreas que se hallan dispuestas de acuerdo a la númeración asignada durante la toma fotográfica de la zona. La información que suministra es la misma que la de un mapa índice, aúnque en este caso la selección de las fotografías que se desea realizar, es mucho más precisa, ya que se puede apreciar con mayor precisión la correspondencia de la foto con el área que se está seleccionando.

En Bolivia, las fotografías aéreas, solo pueden ser adquiridas de dos instituciones, las cuales se hallan encargadas de realizar el levantamiento aéreofotogramétrico y cartográfico del país. Ellas son el Instituto Geográfico Militar y el Servicio Nacional de Aéreofotogrametría, dependientes de las Fuerzas Armadas de la Nación.

2) Es conveniente revisar la bibliografía existente de la zona a estudiar, porque puede orientar al fotogeólogo en la etapa inicial, especialmente en lo referente al conocimiento estratigráfico y estructural. Algunos prefieren evitar consultas de la bibliografía de la zona, por considerar que ella puede influenciar al trabajo de fotointerpretación que realizan. Sin embargo es importante tener conocimiento de las características geológicas de la zona a estudiar, sin que ello signifique que la información consultada, deba ser un factor determinante en la interpretación que se realice.

3) Luego de la selección de las fotografías aéreas, se procede al **estudio de fotomosaicos, o de las imágenes de satélite a diferente escala**, del área a estudiar. Por lo general, es más factible conseguir imagenes de satélite que construir o adquirir un fotomosaico.

Los fotomosaicos y las imágenes de satélite en este caso se utilizan para los siguientes propósitos:

a) Obtener un cuadro regional de la geología de la zona y anotar sobre dichos mosaicos o imágenes de satélite, los rasgos geológicos más sobresalientes e identificables, tales como fallas regionales, ejes de estructuras plegadas mayores, contactos litológicos, etc.

b) Detección de líneamientos fotogeológicos.

c) Para resolver problemas de logística y planeamiento del levantamiento geológico, para la selección de itinerarios a ser utilizados durante la revisión de campo, para la ubicación de vías de acceso, poblaciones, etc.

Los fotomosaicos empleados para este propósito son los mosaicos sin control. Un **fotomosaico** es un ensamble de fotografías aéreas, que han sido cortadas y unidas sistemáticamente de acuerdo a rasgos topograficós, culturales o tonales, dando la apariencia de ser una sola fotografía, con la cual es posible cubrir un área relativamente grande, cubierta por varias fotografías aéreas.

La precisión de un fotomosaico se halla en función de los métodos y la cantidad de puntos de control terrestre empleados para su construcción. De acuerdo a ello, los fotomosaicos son controlados, semicontrolados y no controlados.

Los **Fotomosaicos controlados** son construidos con fotografías rectificadas, de escala uniforme y por lo menos con cincos puntos de control terrestre, para áreas menores a 500 Km^2. Este tipo de mosaicos, tienen una escala uniforme, y en él se pueden realizar mediciones.

Un **Fotomosaico no controlado** es construido con poco o ningún ajuste a un control planimétrico. Las fotografias aéreas utilizadas, no necesariamente requieren tener una escala homogenea, por ello pueden existir errores en posición, y a diferencia del anterior mosaico, no puede ser empleado para realizar mediciones precisas.

Como en un estudio fotogeológico, interesa más la información cualitativa, este tipo de mosaico, es apropiado y suficiente para dicho propósito.

Si no existieran mosaicos ni imágenes del área a estudiar, es conveniente armar un **mosaico de clips**, para lo cual se utilizan fotografías aéreas de numeración par o impar, uniendolas de acuerdo a la sobreposición que entre ellas existan, utilizando para ello clips.

Si se dispone de dos juegos de fotografías aéreas, es aconsejable armar un **mosaico de grampas**, sobre una base de cartón grueso, de manera que pueda ser empleado durante la ejecución del proyecto.

4) La etapa de mayor importancia, corresponde a la **interpretación y anotación de las fotografías aéreas**. Antes de comenzar con la anotación de los datos geológicos, es necesario que en las fotografías aéreas, se hallen marcados los puntos principales y transferidos en cada fotografía aérea. Los indicados puntos, deben ser marcados por circulos pequeños de diametros de 1 cm. asignandoles el número de la fotografía correspondiente. El procedimiento para realizar la determinación del punto principal y transferencia de puntos, se halla descrito en la práctica N^o 2 de la parte III del texto.

La interpretación y anotación de los datos geológicos, se la realiza utilizando determinados símbolos, de acuerdo a los objetivos del estudio fotogeológico, de manera que en algunos casos deberán remarcarse estructuras anticlinales, en otros casos serán más importantes los sinclinales, etc. Por esta razón diferentes empresas o compañias relacionadas con la prospección y exploración de yacimientos de petroleo y minerales, utilizan simbologías apropiadas a dichos objetivos.

Para remarcar las diferencias entre los rasgos geológicos anotados en las fotografías aéreas, se asigna a los símbolos diferentes colores, como los descritos en los capítulos XII y XIII.

Por el costo de las fotografías aéreas y para no dañarlas, se recomienda no anotar directamente sobre su superficie, debiendo recubrirla con un papel transparente especial para ese propósito, como el Kodaktrace o papel de acetato, sobre cuya superficie se puede marcar con lapiz o tinta.

Para no confundir la anotación realizada en la etapa de de interpretación con las correcciones durante la revisión de campo, se recomienda anotar solamente en las fotografias impares o pares, quedando de ese modo fotografías en blanco, sobre las cuales se pueden realizar las correcciones que seán necesarias durante la etapa de revisión de campo.

5) Una vez efectuada la interpretación y anotación sobre las fotografias aéreas, se realiza la **compilación de esos datos sobre un mapa base** que puede ser topográfico o planimetrico, preparado mediante metodos fotogramétricos.

   Para la transferencia de los datos de la fotografía aérea a un mapa base, se emplean instrumentos de restitución fotogramétricos de tercer orden como los descritos en el Capítulo V, punto 5.5.3. Entre ellos, los instrumentos más simples, rápidos y precisos, se hallan el Zoom Transfer Scope y el Stereo Zoom Scope, que facilitan un rápido ajuste de la escala de la fotografía a la escala del mapa.

6) La **revisión de campo** se debe realizar de acuerdo a un plan de trabajo preparado de antemano. Generalmente cuando se efectúa la revisión de campo de un área que ha sido interpretada, se aconseja dar importancia a aquellos sectores donde la fotointerpretación no pudo dar una solución correcta.

   La revisión de campo, debe considerar itinerarios que sean transversales al rumbo general de las estructuras geológicas, de manera que en esos itinerarios se puedan al mismo tiempo identificar y confirmar los diferentes tipos de rocas anotados, así como realizar mediciones de rumbos, buzamientos y la colecta de muestras de rocas, fósiles, etc.

   Cuando se miden valores de rumbo y buzamiento, es importante ubicar en la fotografía áerea el sitio donde se realizaron dichas lecturas, perforando ese punto en la fotografía, con una aguja de punta muy fina, asignandole un número que debe ser anotado en el reverso de dicha foto, al igual que en la libreta de campo. Se recomienda utilizar las fotografías aéreas que no fuéron anotadas en la etapa de interpretación.

   Por lo general, los datos colectados en el terreno y registrados en las fotografías aéreas, deben ser tambien descritos en una libreta de campo, de acuerdo al siguiente modelo:

7) Luego de la revisión de campo, se realiza la corrección del mapa preliminar fotogeológico, utilizando para ello la libreta de campo y las fotografías aéreas corregidas durante la campaña de campo.

Punto	**N° Foto N° Faja**	**Rumbo y bu zamiento**	**Litología**	**Observaciónes**
1	567/23	N 23 E 32NW	arenisca grano fino.....	Muestra N° fósiles....

8) La **comprobación final** del mapa se la realiza a la escala programada para ese propósito.

9) Todo mapa geológico, debe ir acompañado del correspondiente **informe geológico**, que contiene capitulos relacionados con las características generales del área, Estratigrafía, Geología Estructural, Geología Económica y Conclusiones.

ANEXO 3
LEYENDA GEOMORFOLOGICA (Figuras 12.4 y 12.5)
FORMAS DE ORIGEN VOLCANICO


Cono volcánico con cráter bien conservado


Cono adventicio o parásito


Estrato Volcán bien conservado


Estrato Volcán con cráter mal conservado


Cono volcánico compuesto


Domos Lava


Volcán en Escudo


Esqueleto Volcánico


Cráter bien conservado


Formas de erosión glacial (Circos-Aristas) que coinciden con bordes de Cráter


Traza de Posible borde de Caldera Volcánica


Cañones y/o Valles con paredes verticales cortados en Mesetas Volcánicas


Borde de Mesetas Volcánicas Mayores


Borde Mesetas Volcánicas Menores

FORMAS DE ORIGEN FLUVIAL

FORMAS DE DEPOSICION FLUVIAL.-


Abanico Aluvial


Delta


Bajada o Llanura de Piedemonte

FORMAS DE EROSION FLUVIAL


Escarpe de terraza Aluvial


Area con niveles de terrazas lacustres que no pueden ser individualizadas por razón de Escala de Mapeo


Remanente de Terrazas Lacustres esculpidas en niveles calcáreos (algas estromatolíticas)

FORMAS DE ORIGEN GLACIAL


Morrenas Laterales

Circos glaciares


a) bien preservados


b) mal preservados


Abanico Fluvioglacial


Morrenas lateras y frontales


Arista Glaciar

FORMAS DE ORIGEN EOLICO


Dunas tipo Barjan


Dunas fijas compactadas


Dunas Longitudinales

FORMAS DE ORIGEN DENUDACIONAL


Remanentes de Pedimento.Superficie de erosión donde el efecto de erosión y acumulación es mínimo y el biselamiento de la roca es observable. No define un solo nivel


Area de superficies de erosión no muy bien definidas


Serranías y colinas de amplitud de relieve alto, disectadas, desarrolladas en rocas de mayor resistencia a la erosión, sin que refleje control estructural.


Area que muestra serranías bajas con crestas redondeadas,muy disectadas desarrolladas en lutitas, arcillas lacustres o tobas volcánicas. Tipo Provincia Altiplano y cordillera de los Andes.


Colina Residual


Remanente de Glacis. Superficie de erosión y acumulación que afecta a rocas de Edad Cuaternaria y Terciaria con menor frecuencia. No define un solo nivel

Serranías cuya orientación no refleja el control del rumbo de los estratos.


a) Crestas redondeadas

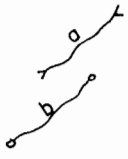

b) Crestas agudas


Paisaje de Tierras Malas -Badlands característico en las Provincias del Altiplano y Cordillera Oriental de los Andes.


Escarpe de Erosión

FORMAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL

Serranía Estructural controlada por la estratificación y la roca. No es posible identificar el buzamiento de los estratos.



a) Serranías con crestas agudas

b) Serranías con crestas redondeadas



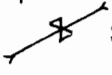
Cuesta. Las flechas indican la dirección de buzamiento de los estratos que coinciden con la inclinación regional de la pendiente. Los dientes indican la posición del "Escarpe de Cuesta".



Remanentes de Mesas



Serranía Anticlinal

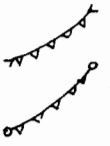


Serranía Sinclinal



Diapiros

Serranía Homoclinal. El vértice del triángulo indica la dirección de Buzamiento de estratos.



a) Serranía con crestas agudas

b) Serranías con crestas redondeadas



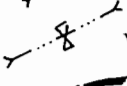
Serranías con desarrollo de Dip Slopes muy marcados. La flecha indica el buzamiento en sentido de la pendiente. Las "Vs" muestran el efecto de la erosión sobre la roca. Generalmente areniscas, calizas o areniscas arcillosas



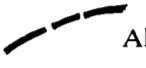
Estratos Horizontales



Valle Anticlinal



Valle Sinclinal



Alineamiento Estructural

Areas de serranías estructurales fuertemente disectadas, que aún muestran orientación por el control de la estructura.



a) Crestas agudas



b) Crestas redondeadas

MISCELANEAS



Cuerpos intrusivos menores



Drenaje Superficial

N Nieves Eternas



Poblaciones



Anomalía Geomórfica



Cuerpos de Agua. Lagunas y lagos



Salares

INDICE ALFABETICO DE LA BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Albertz J. - Kreiling W.	MANUAL FOTOGRAMETRICO DE BOLSILLO - 1980 -Herbert Verlag - Alemania (3er Edición).
Allum J.A.E	FOTOGEOLOGIA Y CARTOGRAFIA POR ZONAS - 1978 - Traducción e Impresión en España - Editorial Paraninfo.
Allum J.A.E.	PHOTOGEOLOGY AND REGIONAL MAPPING -1966 - Pergamon Press ltda. London - England.
American Society of Photogrammetry	MANUAL OF REMOTE SENSING - Colwell R.N (Editor) - 1983 - Falls Curch - Virginia - U.S.A. - (2a.Edición) - Vols. I y II.
American Society of Photogrammetry	MANUAL OF PHOTOGRAPHIC INTERPRETATION - 1960 - Colwell Robert N. (Editor).
American Society of Photogrammetry	MANUAL OF REMOTE SENSING -1975 - Falls Church, Virginia - U.S.A. -(1er Edición) Vols. I y II.
Aubouin J. Browse R. Lehman J. P.	TECTONICA, TECTONOFISICA, MORFOLOGIA - Omega
Avery T.E. & Berlin G.L.	INTERPRETATION OF AERIAL PHOTOGRAPHS - 1985 - Minneapolis Burgess
Baumann Ludwig	INTRODUCTION TO ORE DEPOSITS - John Wiley & Sons
Billings Marland P.	GEOLOGIA ESTRUCTURAL - 1963 - Editorial Universitaria.
Campbell James B.	INTRODUCTION TO REMOTE SENSING - 1987 - The Guilford Press.
CIAF	MANUALES DE ENSEÑANZA Serie Docencia Imágenes y datos de Percepción Remota - Junio 1984 - Bogotá - Colombia.
Coortois Michel Weill Gilbert	THE SPOT SATELLITE - REMOTE SENSING MISSION - Photogrammetric Engineering a nd Remote Sensing - Vol. 47 Nro 8 Agosto 1981 - pag. 1163 - 1171.
Cotton C. A.	GEOMORPHOLOGY - 1964 - Whitcombe & Tombs Limited.
Davis W. M.	GEOGRAPHICAL ESSAYS - 1954 - England. - Dover publications.
Davis George H.	STRUCTURAL GEOLOGY OF ROCKS AND REGIONS - 1984 - John Willey Sons U.S.A.
De Agostini R. Daniel	FOTOGRAFIAS AEREAS Y PLANEACION DE VUELOS - 1971 - Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF) Bogotá Colombia.
De Romer Henry S.	FOTOGEOLOGIA APLICADA - 1969 - Eudeba, Buenos Aires - Argentina.
Derruau Max	GEOMORFOLOGIA - 1966 - Ariel, S.A.
Drury S.A.	IMAGE INTERPRETATION IN GEOLOGY - 1987 - Allen &Unwin - London.
Embleton C y King C.	GLACIAL AND PERIGLACIAL GEOMORPHOLOGY - 1968 - Edward Arnold - England.

Fletcher C.J.N. — ESTRUCTURAS EN ROCAS PLEGADAS - 1977 - Ministerio de Desarrollo de Ultramar - Inglaterra.

Fleuty M.J. — THE DESCRIPTION DE FOLDS - 1964 - Geological Assoc. - Proc. 75 - pags. 461 - 492.

Flint R. F. — GLACIAL AND PLEISTOCENE GEOLOGY - 1957 - Wilby, New York.

Goosen Doekon — INTERPRETACION DE FOTOS AEREAS Y SU IMPORTANCIA EN LEVANTAMIENTO DE SUELOS - 1968 - FAO- NNUU - Roma Italia.

Gordon A. Macdonald — VOLCANOES - 1972 - Prentice Hall, Inc.

Gregory K.J. - D.E. Walling — DRAINAGE BASIN FORM AND PROCESS - A GEOMORPHOLOGICAL APPROACH. - 1972. Edward Arnold

Guerra Peña Felipe — FOTOGEOLOGIA - 1980 - Universidad Nacional Autónoma de Mexico.

Harrys Ray — SATELLITE REMOTE SENSING - AN INTRODUCTION - 1987 - Routhledge & Ke-gan Pauz.

Hills E. S. — OUTLINES OF STRUCTURAL GEOLOGY - 1 953 - 3a. Edición John Wiley and Sons. Inc. New York.

Hobbs B. - Means W.D. — AN OUTLINE OF STRUCTURAL GEOLOGY - 1976 - John Wiley & Sons. and Williams P.F.

Hobbs W. H. — REPEATING PATTERNS IN THE RELIEF AND IN THE STRUCTURE OF THE LAND - 1911 - Bull. Geol. Soc. Amer. - Vol. 22, pp 123-176.

Holtz Robert K. — THE SURVEILLANT SCIENCE - REMOTE SENSING OF THE ENVIROMENT - 1973 - Houghton Mifflin Co. Boston.

Horton R. E. — EROSIONAL DEVELOPMENT OF STREAMS AND THEIR DRAINAJE BASINS - March 1945 - Bulletin of the Geological Society of America - Vol. 56.

Horton R. E. — DRAINAJE BASIN CHARACTERISTIC - 1932 - Trans. Am. Geophys. Union.

Howard Arthur David — DRAINAGE ANALYSIS IN GEOLOGIC INTERPRETATION A SUMMATION - 1967 - The American Association of Petroleum Geologist Bulletin. - Vol. 51 Nro 11.

ITC Journal — PUBLICACION OFICIAL TRIMESTRAL DEL INTERNATIONAL INSTITUTE FOR AERIAL SURVEY AND EARTH SCIENCES - 1982 - 1991 - Holanda.

Johnson Douglas — STREAMS AND THEIR SIGNIFICANCE - 1932 - Journal of Geology - Vol. XL Nro 6.

Kaiser E. P. — STRUCTURAL SIGNIFICANCE OF LINEAMENTS - 1950 - Bull. Geol. Soc. Amer. - Vol. 61, Nro 12, pp. 1475-1476.

King Lester — MORPHOLOGY OF THE EARTH - 1967 - 2a Edición Oliver and London.

L. Leopold - G.Wolman - J.Miller — FLUVIAL PROCESSES IN GEOMORPHOLOGY - 1964 - Freeman and Co.

Lattman Laurence H. — TECHNIQUE OF MAPPING GEOLOGIC FRACTURE TRACES AND LINEAMENTS ON AERIAL PHOTOGRAPHS - September 1958 - Photogrammetric Engineering.

Lattman L. - Matzke R. — GEOLOGICAL SIGNIFICANCE OF FRACTURE TRACES - 1961 - Photogram. Eng. 27 - Nro 3.

Lillesand Thomas M. and Kiefer Ralph W — REMOTE SENSING AND IMAGE INTERPRETATION - 1 979 - John Wiley & Sons -New York - Toronto.

List Franz K.- et.al. — DIGITAL IMAGE PROCESSING AND GROUND REFLECTANCE MEASUREMENTS APPLICATIONS IN ARID AREAS - 1987 - Revista Berliner Geowiss. Abh. (a) - Pags. (873 - 926).

Lopez Vergara M.L. — MANUAL DE FOTOGEOLOGIA - 1978 - Servicio de Publicaciones de la Junta de Energia Nuclear Madrid España (2da. Edición).

Lueder Donald R. — AERIAL PHOTOGRAPHIC INTERPRETATION - PRINCIPLES AND APPLICATION - 1959 - Mc. Graw -Hill, Inc. New York.

MacDonald G.A. — VOLCANOES - 1972 - Englewood Cliffs, New Yersey - Prentice Hall.

Matauer M. — LAS DEFORMACIONES DE LOS MATERIALES DE LA CORTEZA TERRESTRE - 1976 - Ediciones Omega - Barcelona, España.

Mather Paul M. — COMPUTER PROCESSING OF REMOTE SENSING - An Introduction - 1987 - John Wiley & Sons.

Miller Victor C. — PHOTOGEOLOGY - 1961 - McGraw-Hill, Inc. New York, London.

Morisawa M. — STREAMS THEIR DYNAMICS AND MORPHOLOGY - 1968 - Mc Graw Hill. New York - London.

Niblack Wayne — AN INTRODUCTION TO DIGITAL IMAGE PROCESSING - 1986- Prentice Hall In-ternational - 3a. Edición.

Parizek R. Gold D. P. Alexander S — ANALYSIS AND APPLICATION OF ERTS-1 DATA FOR REGIONAL GEOLOGICAL MAPPING - 1973 - Symposium on significant results obtained from the ERTS satellite Vol. I. Techn.

Park and Mac Diarmid — ORE DEPOSITS - 1975 - Freeman Co.

Parvis M. — DRAINAGE PATTERN SIGNIFICANCE IN AIR PHOTO IDENTIFICATION OF SOILS AND BEDROCKS - 1950 - Photogrammetric Engineering - Vol 16 Nro. 3

Prat — DIGITAL IMAGE PROCESSING - 1978 - John Wiley & Sons.

Ragan Donald M. — STRUCTURAL GEOLOGY - 1973 - Jhon Wiley & Sons.

Ramsay John G. — PLEGAMIENTO Y FRACTURACION DE ROCAS -1977 - H.Blume Ediciones - Madrid, España.

Ray Richard G. — AERIAL PHOTOGRAPHS IN GEOLOGICAL INTERPRETATION AND MAPPING - 1960 - U.S. Geological Survey - Professional Paper 373, Washington. D.C.

Richards John A. — REMOTE SENSING DIGITAL IMAGE ANALYSIS - AN INTRODUCTION - 1986 - Springler and Verlag.

Ross Cochrane -G.H. Browns — GEOMORPHIC MAPPING FROM LANDSAT - Photogrammetric Engineering and Remote Sensing - Agosto 1981 - (RBV) Imagery - Vol. 47 Nro 8 - Pag.1205 - 1203.

Rowan Lawrence C. Goestz H - Ashley R.	DISCRIMINATION OF HYDROTHERMALLY ALTERED AND UNALTERED ROCKS IN VISIBLE AND NEAR INFRARED MULTIESPECTRAL IMAGES - 1977 - Geophysics Vol. 42 - Nro 3 - pp. 522 - 535.
Rowan Lawrence C.	APPLICATION OF SATELLITES TO GEOLOGICAL EXPLORATION - 1975 - American Scientist - Vol. 63 - Nro 4 - pp. 393 - 403.
Sabins Jr. Floyd F.	REMOTE SENSING - PRINCIPLES AND INTERPRETATION - 1987 - W. H. Freeman and Company - New York. (2da Edición).
Sabins Jr. Floyd F.	REMOTE SENSING - PRINCIPLES AND INTERPRETATION - 1977 - W. H Freeman and Company - New York (1a Edición).
Siegal S. Barry - Guillespie A. R	REMOTE SENSING IN GEOLOGY - 1980 - John Wiley & Sons - New York
Simon Ivan	RADIACION INFRARROJA - 1964 - Traducción del Original e impreso en México por Edit. Revert. Mexicana, S.A.
Sparks B. W.	GEOMORPHOLOGY - 1967 - Longmans
Steffensen Roberto	STRUCTURAL LINEAMENTS OF GASPE FROM ERTS IMAGERY - 1973 - Symposium on significant results obtained from the ERTS satellite - Vol. I. Techn.
Strahler Arthur N.	QUANTITATIVE ANALYSIS OF WATERSHED GEOMORPHOLOGY - 1957 - Trans. Am. Geophysical Union - Vol. 38 - Pag. 913-920.
Strahler Arthur N.	GEOLOGIA FISICA - 1987 - Ediciones Omega - Barcelona
Strandberg Carl H.	AERIAL DISCOVERY MANUAL - 1967 - John Wiley & Sons, Inc.
Swain Philip H. and Davis Shirley M	REMOTE SENSING - THE QUANTITATIVE APPROACH - 1978 - Mc. Graw Hill..
Tastsch J. H.	MINERAL DEPOSITS - ORIGIN, EVOLUTION AND PRESENT CHARACTERISTICS - 1973 - Tatsch Associates - Sudbury.
Thornbury W. A.	PRINCIPIOS DE GEOMORFOLOGIA - 1960 - Editorial Kapelusz - Argentina.
Townshend John R.G.	TERRAIN ANALYSIS AND REMOTE SENSING - 1981 - Allen & Unwin - London.
Tsang Kong Shin	THEORY OF MICROWAVE REMOTE SENSING - METHODS AND APPLICATIONS - 1987 - John Wiley & Sons.
Vargas Córdova Edgar	ANALISIS SINTETICO DE LOS DATOS GEOLOGICOS OBTENIDOS MEDIANTE LA FOTOINTERPRETACION DE LA CIUDAD DE LA PAZ-BOLIVIA -1977 - Alcaldia Municipal de La Paz - Bolivia.
Vargas Córdova Edgar	COMPARACION ENTRE LA INTERPRETACION GEOLOGICA DE LA IMAGEN LANDSAT Y FOTOGRAFIAS AEREAS DEL AREA DE POTOSI -BOLIVIA - 1977 - Revista Geociencias Vol 1 - No 1 - Universidad Mayor de San Andrés.
Vargas Córdova Edgar	ESTUDIO GEOLOGICO DEL AREA DE LLALLAGUA - 1970 - Boletín No 12 - Servicio Geológico de Bolivia.
Vargas Córdova Edgar et. al.	MAPA GEOMORFOLOGICO DE BOLIVIA (Escala 1:1.000.000 - preparado con imágenes de satélite - inédito - 1985-86).

Vargas Córdova Edgar
Martinez Claude
SUR LE DEFORMATIONS SYNSEDIMENTAIRES MESOZOIQUES DE LA REGION DE MACHA-POCOATA-COLQUECHACA (NORD DE POTOSI CORDILLERE ORIENTALE DE BOLIVIE) - 1988 - Geodynamique - (Geodynamique des Andes Centrales) Vol.3 Nro 1-2 - ORSTOM - Francia.

Vargas Córdova Edgar
Montes de Oca Ismael
YACIMIENTOS DE CALIZA EN BOLIVIA - 1977 - Instituto Geográfico Militar - La Paz, Bolivia.

Verneer J.
SHORT INTRODUCTION TO THERMAL INFRARED AND RADAR IMAGERY - 1972.

Verstappen H. Th.
REMOTE SENSING IN GEOMORPHOLOGY - 1977 - Elsevier Publication Company - Amsterdam - New York.

Verstappen H. Th
FUNDAMENTALS OF PHOTOGEOLOGY - GEOMORPHOLOGY - 1963 - Holland - ITC Textbook - Volumenes VII 1-2.

Von Bandat Horst F.
AEREOGEOLOGY - 1962 - Gulf Publishing Company.

Wilson J. Tuzo
CONTINENTS ADRIFT - 1972 - Freeman and Co.

Zernitz Emile R.
DRAINAGE PATTERNS AND THEIR SIGNIFICANCE - 1932 - Journal of Geology - Vol 40 Nro 6 - Pag 498-521.

INDICE ALFABETICO

Abanicos aluviales, 267
Aberración,119
esférica, 119
cromática, 120
Absorción, 76, 80,87
Acumulaciones irregulares de arena o Goze,298
Acutancia, 171
Agujas glaciares, 284,286
Alineación del drenaje, 251
Alineamientos mixtos, 399
Altura de un pliegue, 380
AMI, 3 2
Amplitud de onda, 57
Análisis, 181
Análisis morfométrico, 255
Anastomosado, 249
Ancho o separación del pliegue, 380
Angularidad, 228, 251
Angulo crítico,84
Angulo de junta, 228
Angulo interflanco, 378, 379
Anisópacos, 384
Anomalía tonal, 208
Anomalía de drenaje, 250
Anticlinal, 372
Anticlinorio, 382
Antiforma, 373
Antimoniuro de indio, 138
APOLO, 11
Arcilitas, (arcillas), 315, 317, 329
Arenas, 328
Areniscas, 309
Aretes o aristas glaciares, 284, 286
Ariane, 26
APR, 6
ASA, 169
Astigmatismo, 121
Atmósfera, 76, 91
Aviopret, 189
Badlands, 316, 317
Bajada, 268, 269
Barras de meandro, 265
Barredores lineales, 100
Barredores multiespectrales, 103, 104
Barredores termales, 75, 103
Base o soporte, 151,
Base instrumental del estereoscopio, 445
Batolitos, 339
Bolsones, 269
Braquisinclinal, 381
BRASSEX, 32
Brechas, 313
Brillo, 63, 155, 156
BURANE, 30
Butte, 367
Cabecera, 286
Calderas, 357
por explosión y colapso, 358
de hundimiento, 358
Calizas y dolomitas, 320, 321
Cámara aérea, 124
con formato, 124
contínuas, 125
de reconocimiento, 125
horizontales, 124
inclinadas, 124
métricas, 125
multiespectral MARK I-I2S, 130, 166
multiespectral ITEK 9L y 6L, 130, 166
panorámicas, 125
sin formato, 125
verticales, 124

Camouflage, 3
Captura de ríos, 251
Características tonales, 207
Características del drenaje, 221
CCDs, 10 8
Cenoglomerado, 329
Cerros pepinos, 324
Cicatrices de meandros, 265
Ciclo geomórfico fluvial, 306
Circos glaciares, 284
Clasificación genética del drenaje, 228
Clasificación de los sensores remotos, 93
Clasificación de pliegues, 383
Col, 232
Coladas de lava, 286
Color, 155, 161
Primario substractivo, 159
Primario aditivo, 156
Collwell R. N, 210
Configuración de pliegues, 378
Conglomerados, 313
Conos de Talud, 280
Conos volcánicos, 345
adventicios o parásitos, 352
compuestos, 351
de cinder, 349
de ceniza, 349
de lava, 350
de salpicadura, 349
estrato volcán, 351
piroclásticos, 349
Contrahuella, 288
Contraste, 143, 169
normal, 169
tonal, 171, 172
COLUMBIA, 24
COSMOS, 30
Cráteres, 357
Cresta de un pliegue, 374
Cripto Karst, 322
Criterios de observación, 203
Cuarcitas, 362
Cubeta sinclinal, 381
Cuello volcánico, 358
Cuenca, 286
Cuenca de drenaje, 254
Cuerpo negro, 63
Cuerpos ígneos intrusivos concordantes, 335
Cuerpos intrusivos discordantes, 337
Cuesta, 367
Curva característica, 167
CHALLENGER, 25
Charnela del pliegue, 373
Chimenea, 358
Daguerrotipo, 2
Deducción, 180, 182
Definición de la imagen, 171, 172
Deltas, 269
en forma de abanicos, 273
digitados, 273
capas basales, 272
capas dorsales, 272
capas frontales, 272
frente del delta, 274
Densidad mínima (FOG), 167, 169
Densidad, 167
Densidad de drenaje, 225
Depósitos no consolidados, 238
Depósitos de pantano, 249
Depósitos de la faja de meandros, 249, 265, 266
Depresión de desplome, 322
Depresiones volcánicas, 357
Depresiones tectónicas-volcánicas, 357, 358
Desplazamiento neto, 391
de buzamiento, 391
de rumbo, 391
Desplazamiento transversal, 396
Desplazamiento axial de estructuras, 397

Detección, 142, 180, 181
Detectividad, 137
Detectores, 135
cuánticos o de fotón, 135, 136
de infrarrojo, 136
revestidos de germanio, 139
termales, 135
Diaclasa, 334
Diaclasamiento, 400
en rocas sedimentarias, 401
en rocas metamórficas, 401
en rocas ígneas, 401
Diamicto, 329
Diapiros, 404
Diatremas, 357, 359
Digitalización, 139
Dimensiones de un pliegue, 379
DIN, 169
Dip slopes, 217, 310, 326, 364, 365
Diques ígneos, 337
cónicos, 338
anulares, 338
radiales, 338
Diques o albardones naturales, 265
Discontinuidad de estructuras, 396
Discontinuidades, 371
estructurales, 372
primarias, 371
Discordancias, 405
Diseño, 215
Diseño de Tono, 215, 307
de tono bandeado, 216
de tono nebuloso, 216, 217
de tono oval, 216
Diseño de Drenaje, 218
anárquico, 218, 247
angular, 243
anular, 243
básicos modificados, 220
centripetal, 221, 246
complejo, 221, 250
compuesto, 221
dendrítico, 219, 220, 232
dendrítico variedad Pectineo, 233
dendrítico variedad pinado, 235
dendrítico variedad tenaza, 235
dicotómico 219, 220, 250
interno 248
meándrico, 219, 220, 249
múltiple de cuenca, 221, 247
palimsesta, 221, 250
parrilla (Trellis), 219, 220, 235, 241
parrilla con dendrítico local, 241
parrilla de fallas, 239
parrilla curvilíneo 239
paralelo 219, 220, 246
radial, 219, 220, 244
rectangular 219, 220, 241
trenzado 219, 248
Dispersión, 78
Mie, 80
no selectiva 80
Selectiva, 78
Raleigh, 78
Distorsión, 119, 122
Dolinas, 322
Domo anticlinal, 381
Domos volcánicos, 352
endógenos 352
exógenos, 352
DOMSAT 19
Drenaje construccional 218
Drenaje destruccional, 218, 219
Drumlins, 293
campos de drumlins, 294
Dunas o Médanos, 298, 299
lomos de ballena, 302
longitudinales, 300

semilunares o Barjan, 298, 302
parabólicas, 298, 302
piramidales o estelares 302
transversales 298, 300
Eje del pliegue, 374
Emisividad, 65
Emulsión fotográfica, 151
cromatizadas, 153
infrarrojo blanco y negro, 155
no cromatizadas o ciegas, 153
ortocromáticas, 153
pancromáticas, 154
Energía equivalente al ruido (NEP), 137
Energía radiante, 60
Entrada equivalente de ruido (NEI), 137
EOSAT, 24, 31
ERDAS PC, 24
Error de coma, 121
ERTS-1, 11
ESA, 30, 32
Escala, 147, 204, 212
Escaleras glaciares, 288
Escarpes, 388
de cuesta, 367
de falla, 393
de línea de falla, 393, 395
de línea de falla obsecuente, 395
de línea de falla resecuente, 395
Escombro de talud, 281
Eskers, 291, 295
Espectro electromagnético, 68, 70
Espectro emisivo o termal, 74
fotográfico, 74
óptico, 73
invisible, 68, 69
visible, 68
reflectivo, 74
Espectrofotómetro, 97
Espectrómetro, 95, 97, 98
Espectroradiómetro, 99
Espectroreflectómetro, 99
Espectroscopios, 97
Espina volcánica, 352
Esquistos, 361
Estereocord, 182, 195
Estereogramas ,
Estereomicroscopios, 185, 189
Estereopret, 182
Estereoradian, 62
Estereoscopios, 185
de espejos y prismas, 187
de lentes o de bolsillo, 186
Estereotriplets, 454
Estratigrafía , 199
Estrato volcán, 351
Estructuras homoclinales, 385
ETC, 21
Eustático, 276
Evaporíticas, 327
Exitancia, 61
Explorer, 8
Exposición, 61, 167
Facolitos, 334, 335
Falla, 389
de alto ángulo, 393
de bajo ángulo, 393, 400
horizontales o de rumbo, 400
Feidj, 300
Filones capas o mantos (Sill), 335
Filtros, 166
Fisura, 389
Flancos del pliegue, 374
Flat irons, 364
Flujo radiante, 61
Forma, 261
Formas construccionales, 262
Formas destruccionales, 262
Fotogeología, 39, 198

cualitativa, 203
cuantitativa, 203
Fotografía, 72
Fotografía Aérea, 149
oblícua, 175
de bajo ángulo, 175, 176
de alto ángulo, 175, 176
vertical, 175
Fotogrametría, 200
Fotoíndice, 413
Fotointerpretación, 1, 39, 179, 182, 205
Fotolectura, 181
Fotomosaico, 413, 414
controlados, 414
no controlado, 414
de grampas, 414
de clips, 414
FRAGMET, 30
Fractura, 389
Frecuencia de onda, 56
Frecuencia de drenaje, 225
Fuente de radiación de energía, 90
Función modular de transformación (MTF), 145, 146
Gamma, 169
Gassi, 300
Gelatina, 151
Géminis, 8
Geoforma, 262
Geoformas fluvioglaciales, 291
Geología estructural, 199
Geología de Campo, 200
Geomorfología, 199
Glaciación de montaña, 283
Glaciación continental, 283, 292
Grados de uniformidad, 222
Grado de control, 227
Grado de integración, 222
Granulosidad, 167, 170
Gravas, 328
HCMM, 19, 22
HCMR, 22
Hog back, 367
Horn, 286
Hornitos, 346, 350
Howard. A, 220
HRV, 27
Huella, 288
Hum, 324
IFOV, 101, 142, 144
Imagen, 7
análoga, 99
latente, 152
Indice de refracción, 84
Indice de exposición aéreo (AEI), 170
Inducción, 180, 182
Información espacial, 140
Información espectral, 141
Información temporal, 141
Información radiométrica, 140
Infrarrojo, 71
cercano, 72
emitido, 73
lejano, 72
reflectivo, 72
termal, 72
Intensidad, 62
Interferencia de estructuras, 385
Interpretoscopio, 189
Interrupción de estructuras, 396
IRS, 33
JERS I, 32
Joule, 60
Kame, 291, 295
Kárstico, 321
KATE-1, 23, 30
Lacrosse, 26
Lagos en rosario, 288
Lagos kársticos, 322

Lagunas semilunares, 265, 266
LANDSAT, 11, 12, 13, 144
Latitud, 171
Latmann, 402
Ley de Lambert, 66
Ley de Snell, 83
Ley de Stephan-Boltzmann, 65
Ley de Kirchhof, 65
Ley de desplazamiento de Wien, 66
Leyes de composición de drenaje, 255
LFC, 25
Limolita, 315, 319
Línea de vuelo, 438
Lineamiento, 401
Líneas pares por milímetro (LPM), 145
Líneas de unión, 438
Llanura de piedemonte, 269
Llanura deltaica, 272
Llanura de lava, 354
Llanuras aluviales, 264
aluviales de curso simple, 248,264
aluviales de cursos múltiples, 248, 267
Llanuras de till, 293
Llanuras de loess, 303
Llanuras glaciarias limadas, 292
Llanuras fluvioglaciares, 294
Loess, 315, 319
Longitud de onda, 55
Longitud del pliegue, 381
Lopolitos, 336
Lueder R., 218
Lutitas, 315, 316
Luz blanca, 156
Luz negra, 159
Maars, 357
Manperlan, 288
Mantos de arena, 298
Mapa base, 181, 185
Mapa índice, 412, 413
Mapeador temático o TM, 18, 106
Marcas fiduciales, 437
Margas, 315, 320
Material fotosensitivo, 151
Matriz, 155, 156
Meandros abandonados, 265, 249
Mesa, 309, 367
Meseta estructural, 367
Meseta de lavas, 354
Metamorfismo regional, 359
Metamorfismo de contacto, 359
METEOR, 30
Micrómetro, 55, 69
Microondas, 73
Micropliegues, 382
Mini Addcol, 130, 166
MKF-6, 23
Mogotes, 329
MOMS, 25
Morfometría, 255
Morrenas, 289
de fondo, 290, 293
laterales, 289
terminales o frontales, 290, 293
MSS, 13, 18, 142, 180
Nadar, 2
Naves transbordadoras espaciales, 24
Negativo, 152
Nivel de referencia, 183
específico, 184
general, 184
local, 184
Niveles de brillo, 140
NOAA, 11
Old Delft Scanning Stereoscope, 189
OMNISTAR, 31
Ondas, 54
armónicas simples, 54
longitudinales, 54

transversales, 54, 55
Opacidad, 167
Orientación, 227
OSTA, 24
Paisajes de cuesta, 309, 367
Panoramógrafo, 2
Papel fotográfico, 174
brilloso, 174
de doble peso, 175
de peso sencillo, 175
fino, 175
mate, 174
semimate, 174
Paralaje estereoscópico, 171, 172
Película fotográfica, 150
blanco y negro, 153
color, 155, 161
espectrozonal, 150
falso color, 163
infrarrojo, 155, 163
infrarrojo color, 163
multiespectral, 165
Pendiente estructural, 217, 310, 364
Percepción remota, 8, 38, 40, 198
Perfil transversal, 287
Perfil longitudinal, 287
Periclinal, 377
Petrografía, 199
Pixel, 100, 139, 140
Pizarras, 361
Plano de Falla, 391, 393
Plano axial, 377
Plano del seno, 374
Plano crestal, 374
Pliegue, 372
angular, 379
abierto, 379
anisopacos, 384
asimétrico, 382
cerrado, 379
cilíndricos, 375
cónicos, 376
con hundimiento alto, 376
con hundimiento suave, 376
estrecho o apretado, 379
horizontal, 376, 383
inclinado, 378, 383
isoclinal, 379
isópacos, 383
menores, 382
muy abierto o suave, 379
no cilíndricos, 376
normal, 378, 383
paralelos, 383
recumbente, 378, 383
redondeado, 379
simétrico, 382
similares, 383,384
vertical, 376, 383
volcado, 378, 383
Poder de resolución, 141, 171
Polarización, 5 7
horizontal, 58
paralela, 58
perpendicular, 58
Poljes, 323
Potencia, 60
Pushbroom, 27, 107
Pseudo-Karst, 248, 323
Punto principal, 437
Radar, 110, 115
Radar aéreo de vista lateral o SLAR, 94, 100, 111
Radar de apertura real, 112, 113
Radar de apertura sintética (SAR), 112, 113
Radiación electromagnética, 54
Radián, 61
Radianza, 63
Radiómetros, 75, 95

de microondas, 95, 96
infrarrojo, 95
RADASCAT, 21
Rasgos circulares, 404
RBV, 13, 110
RCA, 24
Reacción espectral, 237
Rechazo, 391, 392
Reconocimiento, 142, 180
Reflexión, 85
difusa, 85, 86
especular, 85
Refracción, 83
Registro digital, 139
Registro gráfico, 139
Regla de las Vs., 364
Rejuvenecimiento, 276
eustático, 276
Relación o coeficiente de bifurcación, 255
Relación señal-ruido (S/N), 137
Repetición y omisión de estratos, 396
Resolución, 141
del terreno, 142
espacial, 142
espectral, 142
radiométrica, 142
temporal, 142
Reversible substractivo, 160
Río, 228
antecedentes, 231
consecuente, 229
de primer orden, 255
de segundo orden, 255
insecuente, 231
obsecuente, 231
subsecuente, 229
sobreimpuesto, 232
transversales a la estructura, 232
RMK A30/23, 25
Rocas, 307
ígneas extrusivas,332, 341
ígneas intrusivas, 332,
gneisicas, 360
metamórficas, 359
sedimentarias, 307
ROHIMI, 33, 37
Rúbrica espectral, 87, 141
Ruido (N), 136
Rumbo y buzamiento, 364
SALYUT-SOYUZ, 23
SALYUT, 23, 30
SAR, 22,32
Saturación, 155, 156
SEASAT, 19, 21, 22
SEASAT SAR, 22, 113
Seleniuro de plomo, 138
Señal, 136
Seno de un pliegue, 374
Sensibilidad, 136
Sensibilidad espectral, 167
Sensitometría, 167
Sensores remotos, 93
activos, 94
biestáticos, 134
con registro de información espectral, 94
formadores de imagen, 94, 99
monoestáticos, 134
pasivos, 94
Separación, 391
Serranía anticlinal, 385, 386
Serranía sinclinal, 385, 386
Serranías homoclinales, 368, 386
Simbología fotogeológica, 370, 388,405
Simetría de los pliegues, 382
Sinclinal, 373
Sinclinorio, 382
Sinforma, 373
SIR-A, 25, 115

SIR-B, 25,115
Sistema fotográfico, 5, 7, 75, 118
Sistema óptico, 118
Sitio, 212
Sketchmaster, 192, 193
SKYLAB,119
SLAR, 6, 111, 112
Sobrecubierta, 153
Sombra, 211
SPACELAB, 25
Spatter, 349, 350
SPOT, 26, 28, 29, 30, 180, 181
SPUTNIK, 8
SROSS, 33
stocks, 339
Substracción de colores, 159
Sulfuro de plomo, 138
Superficie axial, 377
Tamaño, 212
Tapones, 358
Tarn, 286
TDRS, 19
Teledetección, 1, 38
Telúrico de cadmio y mercurio, 139
Termokarst, 221, 248
Terrazas, 276
- aluviales, 276
- acíclicas, 277
- cíclicas, 277
- de erosión, 276
- estructural, 276
- pares, 277
- kame, 294, 295

TERS, 32
Textura fotográfica, 209, 210, 211
Textura moteada, 209
Textura de drenaje, 225, 226
Till, 293, 294, 328
Tintes, 160, 161
Tipos de estructuras volcánicas, 344
TIROS, 8
TM (Thematic Mapper), 118, 142
Tono fotográfico, 203, 205
Torrentes de barro, 329
Transmisión, 89
Transbordadores, 24
- Atlantis, 25
- Columbia, 24, 25
- Challenger, 25
- Lacrosse, 25
- Burane, 30

Transmitancia, 167
Traza axial, 377
Triángulos de erosión, 364
Truncamiento y convergencia de estratos, 396
Túmulos, 350
Ultravioleta, 69
- de onda corta, 71
- de onda media, 71
- de onda larga, 71
- del vacío, 78

Umbral, 286
Unidades radiométricas, 60
Uvalas, 323
Valles, 279
- anticlinal, 385, 386
- colgantes, 289
- de dos pisos, 280
- de rumbo o longitudinales, 229
- en valle, 279
- glaciares, 286
- homoclinales, 385, 386
- jóvenes, 280
- maduros, 280
- relleno, 269
- seniles, 280
- sinclinal, 385, 386

Variedades de diseños, 221

Vatio, 61
Vegetación, 213
Velocidad de propagación, 55
Velocidad de la emulsión aérea, 170
Velocidad, 169
Ventanas atmosféricas, 81
Verstappen. H.Th, 219
Vicar, 22
Vidicon, 100, 109
Volcanes, 346
Volcanes en escudo, 350
Volcanismo, 344
Volcanismo de tipo central, 346
Wratten, 155, 166
Wright W, 2
Zona de la charnela, 374
Zona de falla, 389
Zoom transfer scope (ZTF), 193, 194
ZTS, 194

FE DE ERRATAS

PAGINA	LINEA	DICE	DEBE DECIR
30	27	rspectro	espectro
30	40	te-rrestres	terrestres
38	35	or	por
54	3	ual	dual
66	15	11000	1000
110	20	inforformación	información
147	7	MM	mm
159	5	diapositivas	diapositivos
265	27	desage	desague
272	31	llanuras climáticas	llanuras deltáicas
321*	26-27		
360	28	ortogneiss	ortogneis
416	1	comprobación	compilación

* Las dos líneas no corresponden a esa hoja, debe anularse.

ERRATAS EN FIGURAS

PAGINA	No. FIGURA	GRAFICO CORREGIDO
121	3.17	

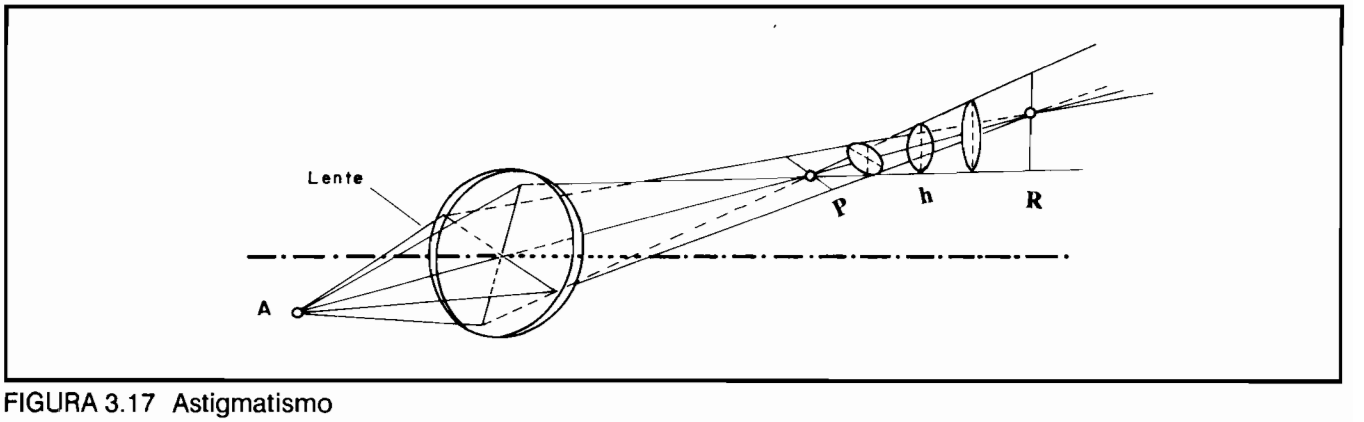


FIGURA 3.17 Astigmatismo

273 8.4

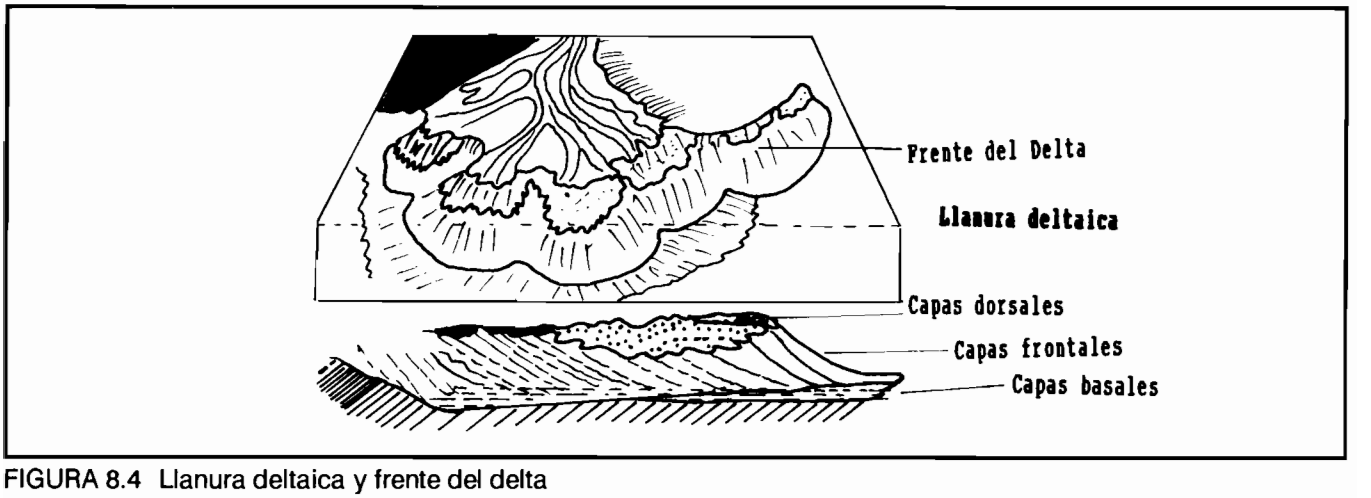


FIGURA 8.4 Llanura deltaica y frente del delta

ERRATAS EN FIGURAS

PAGINA	No. FIGURA	GRAFICO CORREGIDO
398	13.2	

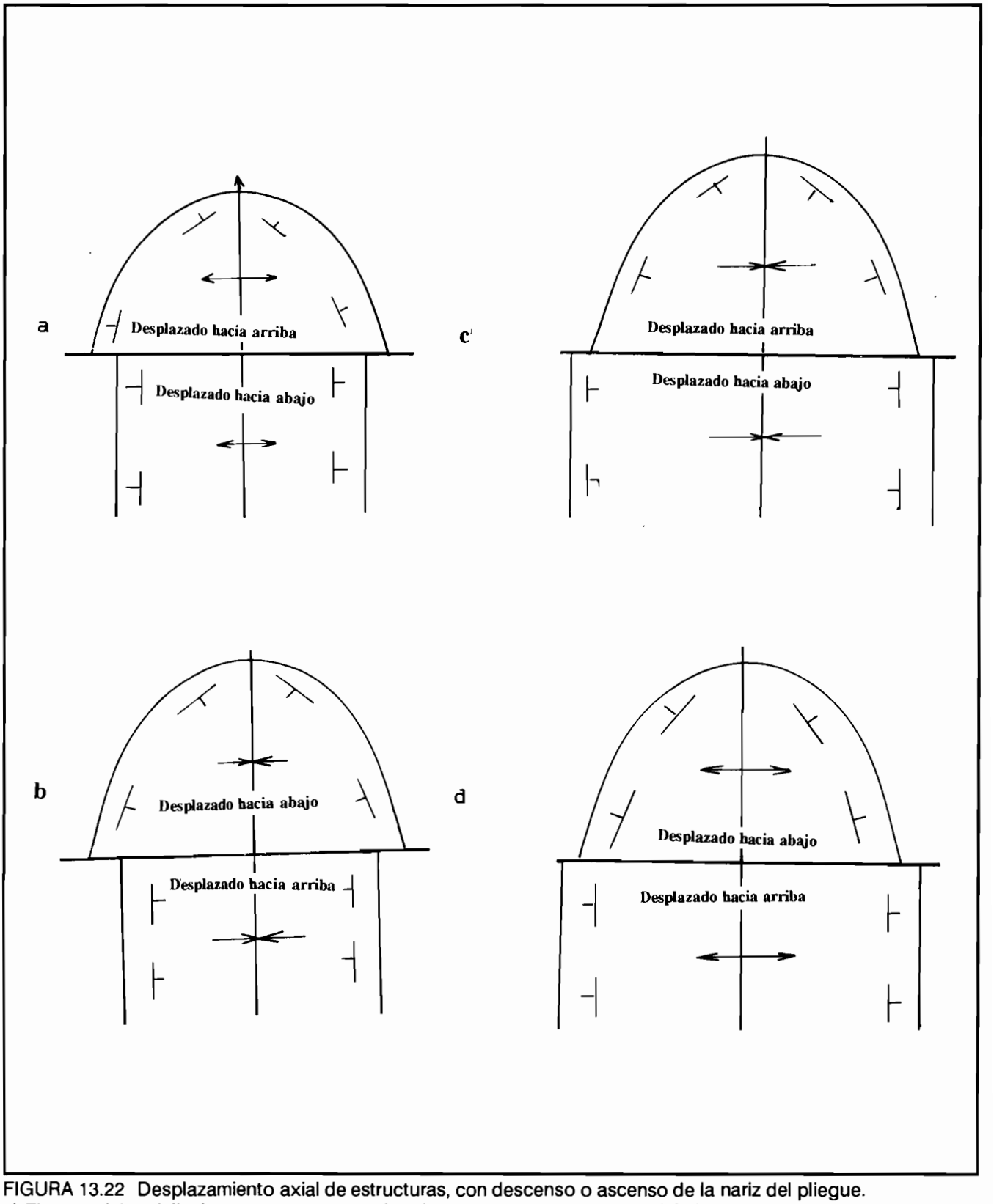


FIGURA 13.22 Desplazamiento axial de estructuras, con descenso o ascenso de la nariz del pliegue.
a) Flancos del anticlinal muestran un ensanchamiento aparente menor a los del cierre.
b) Flancos del sinclinal muestran un ensanchamiento aparente menor a los del cierre.
c) Flancos del sinclinal muestran un ensanchamiento aparente mayor a los del cierre.
d) Flancos del anticlinal muestran un ensanchamiento aparente mayor a los del cierre.
(Modificado de Thornbury W.A. 1960)

La presente edición de 1.000 ejemplares, se terminó de imprimir el día 12 de mayo de 1992 en los talleres gráficos del Comité Ejecutivo de la Universidad Boliviana, Av. Arce 2606, en la ciudad de La Paz - República de Bolivia.



El Ingeniero Edgar Vargas Córdova, egresó de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Mayor de San Andrés en La Paz Bolivia, realizó estudios de post-grado en Delft - Holanda, en el International Training Center for Aerial Survey ITC, habiendo obtenido el título de Fotogeólogo ITC. Posteriormente, obtuvo el título de Master of Science en la Universidad de Sheffield - Inglaterra.

Catedrático de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Mayor de San Andrés durante 27 años, fué declarado en 1990 por el Honorable Consejo Universitario, Profesor Emérito de la Universidad Mayor de San Andrés. Profesor invitado de la Universidad Libre de Berlín en los años 1975 y 1988.

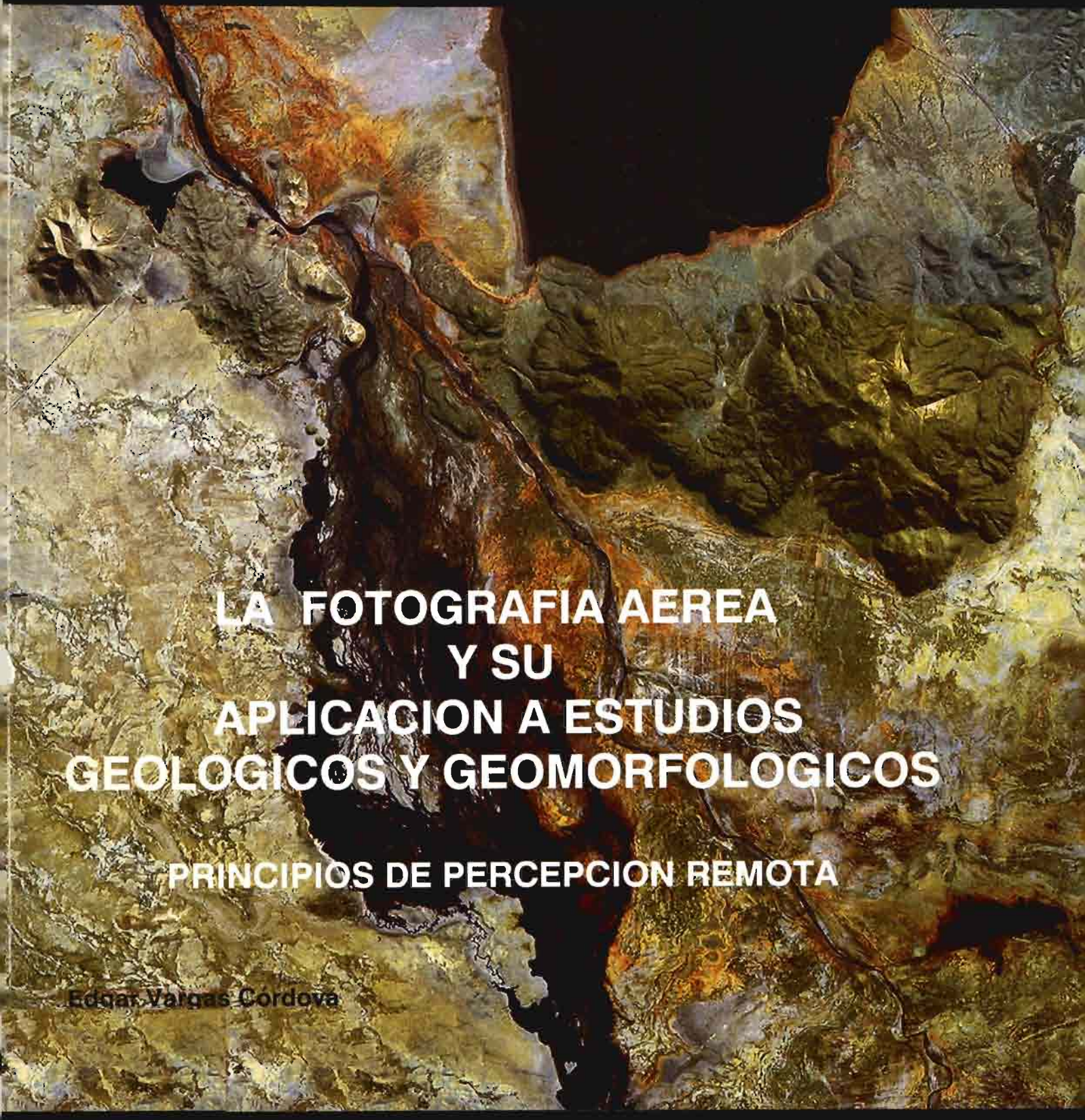
En la Universidad Mayor de San Andrés ejerció, los cargos de Vice-Decano y Decano de la Facultad de Ciencias Geológicas en 1970, Director del Centro de Investigaciones Geológicas, Jefe del Departamento de Geociencias de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Director de Estudios de la Facultad de Ciencias Geológicas..

Ha desempeñado varios cargos en el Banco Minero de Bolivia, Servicio Geológico de Bolivia, Proyecto de Levantamiento de la Cordillera y el Altiplano (GEOBOL-NNUU) Ministerio de Planeamiento y Coordinación, Plan de Desa-rrollo Urbano de la ciudad de La Paz (H. Alcaldia Municipal - Consultoras francesas B.R.G.M y B.C.O.M.)

Fue Secretario General de la Comisión Nacional de Estudios Geofísicos, Presidente de la Comisión Nacional de Geografía - Sección Nacional del Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Presidente de la Asociación de Docentes de la Facultad de Ciencias Geológicas. Actual Presidente de la Sociedad Geológica Boliviana. Autor de varias publicaciones técnicas.

Impreso: Imp. C.E.U.B.

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES



LA FOTOGRAFIA AEREA Y SU APLICACION A ESTUDIOS GEOLOGICOS Y GEOMORFOLOGICOS

PRINCIPIOS DE PERCEPCION REMOTA

Edgar Vargas Córdova

TOMO II

ORSTOM INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

FOTO DE LA PORTADA.- Imagen LANDSAT-TM Mapeador Temático-Combinación de Bandas-Proporciones (ratios) 5/7-5/4-3/1-Enmascaramiento de agua y vegetación. La imagen muestra los yacimientos auríferos de La Joya-Koricollo (Inti Raymi) (Atención del Proyecto BID-USGS-GEOBOL)

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

LA FOTOGRAFIA AEREA Y SU APLICACION A ESTUDIOS GEOLOGICOS Y GEOMORFOLOGICOS

PRINCIPIOS DE PERCEPCION REMOTA

TOMO II

Edgar Vargas Córdova
Facultad de Ciencias Geológicas
Universidad Mayor de San Andrés

LA PAZ -BOLIVIA
1992

ORSTOM INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

Editores: Universidad Mayor de San Andrés

Depósito Legal:

4-1-76-92

Impresores: Imprenta del Comité Ejecutivo de la Universidad Boliviana

Av. Arce 2606

La Paz - Bolivia

Autor Edgar Vargas Córdova

Prohibida su reproducción parcial, total o ser transmitido ya sea por procedimientos electrónicos, mecánicos incluyendo fotocopias, grabaciones magnéticas, o cualquier almacenamiento de información y sistemas de recuperación, sin permiso del autor.

LA FOTOGRAFIA AEREA
Y SU
APLICACION A ESTUDIOS
GEOLOGICOS Y GEOMORFOLOGICOS

PRINCIPIOS DE PERCEPCION REMOTA

TOMO II

A mi esposa, mis hijos, Rita,
Marco Antonio, Ricardo, Sergio,
y a la memoria de mis padres.

INDICE GENERAL

TOMO I

Prólogo		Pag.	ix
Agradecimientos		Pag.	xi
Indice general		Pag:	xiii
Indice de contenidos		Pag.	xv
PARTE I	Elementos de Percepción Remota	Pag.	1
PARTE II	Interpretación Geológica y Geomorfológica mediante el uso de Fotografías Aéreas e Imágenes de Satélite	Pag.	179
Indice bibliográfico		Pag.	421
Indice alfabético		Pag.	427

TOMO II

Indice general		Pag.	v
Indice de contenidos		Pag.	vii
PARTE III	Ejercicios Prácticos	Pag.	437
PARTE IV	Descripción de los Modelos Estereoscópicos	Pag.	461
Anexos Modelos estereoscópicos		Pag.	803

INDICE DE CONTENIDOS

TOMO II

INDICE GENERAL v

PARTE III EJERCICIOS PRACTICOS

PRACTICA N° 1 437
Manejo del estereoscopio de bolsillo

PRACTICA N° 2 442
Examen y ejercicio para la visión estereoscopica

PRACTICA N° 3 445
Orientación de un par de fotografías aéreas en un estereoscopio de espejos

PRACTICA N° 4 448
Determinación de la escala de la foto

PRACTICA N° 5 451
Construcción de estereogramas

PRACTICA N° 6 453
Construcción de estereotriplets

PRACTICA N° 7 455
Guías para el análisis geomórfico y geológico mediante la interpretación de fotografías aéreas

PARTE IV DESCRIPCION DE LOS MODELOS ESTEREOSCOPICOS

Introducción 461
Descripción de los modelos estereoscópicos 463
Anexo modelos estereoscópicos 803
Anexo No. 1 803
Anexo No. 2 806
Anexo No. 3 809
Anexo No. 4 812
Anexo No. 5 814
Anexo No. 6 821
Anexo No .7 825
Anexo No. 8 829

PARTE III

EJERCICIOS PRACTICOS

PRACTICA N° 1
MANEJO DEL ESTEREOSCOPIO DE BOLSILLO

Objetivo .-

a) Aprender el manejo del estereoscopio de bolsillo

b) Determinar en la fotografía aérea el "Punto Principal" y "Línea de Vuelo", para ser utilizadas en la correcta orientación de las fotografías aéreas.

c) Determinar en la fotografía aérea, el área donde la influencia de la inclinación y el desplazamiento del relieve son mínimos y por lo tanto constituyen la mejor zona para realizar fotointerpretación.

Material Requerido.-

Estereoscopio de bolsillo, regla, lápices de cera de diferentes colores, goma, aguja, juego de escuadras.

Instrucciones.-

1. Marcar los puntos principales y líneas de vuelo en las fotografías aéreas de acuerdo al siguiente procedimiento:

   a) Unir las marcas fiduciales opuestas que se hallan en la fotografía aérea y marcar suavemente con una aguja una raya corta en la parte que pasa por el centro de la foto aérea (Figura P.1.1.A).

   b) Perforar con una aguja de punta muy fina, en la intersección de las dos líneas marcadas de acuerdo a lo indicado en el anterior punto.

   c) Esta intersección es el Punto Principal de la fotografía aérea. Marcar con un círculo de diámetro de 1 cm. y asignarle el número que tiene la fotografía aérea. (Fig. P.1.1.A)

   d) Si alguna de las marcas fiduciales no se halla en la fotografía aérea, se recomienda utilizar una plantilla con dos líneas perpendiculares, para determinar el Punto Principal. Las dos líneas perpendiculares se hacen coincidir con las marcas Fiduciales

   e) Seguir el mismo procedimiento con las demás fotografías aéreas.

2. Realizar la transferencia de los puntos principales en las otras fotos mediante un estereoscopio de bolsillo. Para este propósito, se aconseja dibujar una línea horizontal en cada fotografía aérea, que parta de los puntos principales, en dirección de la sobreposición que ambas fotografías tienen, como se muestra en la figura P.1.1.B.

   Colocar la foto derecha por encima de la foto izquierda, de manera que ambas líneas horizontales sean colineares (Figura P.1.1.C) y se hallen sobrepuestas en un 20% de manera que a primera vista se observe en ambas fotografías el mismo detalle fotográfico. En esa posición, colocar el estereoscopio sobre el par de fotografías sobrepuestas, de manera que la lente del lado derecho del estereoscopio, enfoque en el centro de su

campo visual al Punto Principal de la foto derecha mientras que la lente del lado izquierdo se halle sobre la fotografía izquierda, de manera que en el campo visual de la lente izquierda se observe el mismo punto o área observada en el campo visual de la foto derecha. Si ello no ocurriera, desplazar un poco la foto de la izquierda, hacia la derecha o izquierda hasta conseguir que los puntos indicados seán observados simultáneamente y en posición coincidente a través del estereoscopio. Perforar o marcar con una pequeña cruz, el punto así observado en la foto derecha, asignándole el número de la fotografía izquierda. Ese punto es denominado punto principal homólogo transferido que corresponde al punto principal de la foto izquierda. En esa posición se deberá observar el modelo en tres dimensiones. Repetir el mismo procedimiento para transferir el Punto principal de la foto izquierda, en este caso sobreponiendo la foto izquierda sobre la foto derecha.

3. Luego de efectuar la transferencia de los Puntos Principales a las fotos aéreas, cada una de ellas deberá tener dos puntos. Unir ambos puntos con una línea y obtendrá de esta forma la LINEA DE VUELO. Repetir el mismo procedimiento para todas las fotos aéreas. (Figura P.1.2.D)

4. En la foto central trazar líneas perpendiculares a ambos lados de los puntos medios de cada línea de vuelo. Estas líneas son denominadas LINEAS DE UNION. (Figura P.1.2.D). Se recomienda marcar estas líneas con colores diferentes a las líneas de vuelo.

5. Transferir estereoscópicamente las "Líneas de Unión" a las fotos adyacentes de la derecha e izquierda. Para realizar la transferencia, se recomienda elegir cinco puntos a lo largo de cada línea, que se hallen regularmente distanciados entre sí y que tengan en lo posible alturas que sean aproximadamente iguales.

6. El área comprendida entre estas dos líneas, es la zona donde mejor estereoscopía se observa, y en la cual, la influencia de la inclinación y desplazamiento debido al relieve son mínimos, generalmente es la zona empleada para fines de interpretación. (Figura P.1.2.D)

   Solo en el caso de terreno plano y muy poca inclinación de las fotos, es posible utilizar toda la foto aérea para fines de interpretación y anotación.

Procedimiento para orientar el estereoscopio de bolsillo, utilizando como referencia las líneas de vuelo.

1. Alinear ambas fotografías aéreas, tomando como referencia las líneas de vuelo de la siguiente manera:

   a) Sobre la línea de vuelo de la fotografía aérea izquierda, sobreponer la línea de vuelo de la foto derecha, tratando que ambas líneas de vuelo coincidan o sean colineares. La sobreposición entre ambas fotos deben ser de aproximadamente un 20% del área de la fotografía (Figura P.1.2.E)

   b) Una vez realizada esta operación, colocar sobre ambas fotografías el estereoscopio de bolsillo, de manera que la parte media del estereoscopio; se halle sobre el borde izquierdo de la foto derecha; y los puntos 24 y 24', se hallen en el medio del campo de vista de cada ocular;cuidando que la distancia "d" entre el punto principal 24 de la fotografía izquierda y su punto homólogo transferido 24' en la fotografía derecha sea

igual a la distancia entre los centros del campo visual de los lentes del estereoscopio de bolsillo (Figura P.1.2.E) que aproximadamente varían entre 13.7 y 14.5 cm. cuando se trabaja con fotos de tamaño 23 x 23 cm.

c) Para poder observar la parte de la foto derecha que se halla sobrepuesta por la foto izquierda, doblar hacia arriba el borde derecho de la foto izquierda; cuidando de no dañarla y recorrer el estereoscopio hacia la izquierda de manera que el borde derecho de la foto izquierda, se halle siempre coincidiendo con la parte media del estereoscopio (Figura P.2.1.F). Luego, desplazar el estereoscopio hacia arriba, abajo, derecha o izquierda según la zona que se desee observar.

d) En esa posición, al observar con ambos ojos a través del estereoscopio se debe ver el modelo estereoscópico en tres dimensiones, pudiendo percibir la sensación de profundidad.Para ello se debe conseguir la fusión mental de los dos puntos homólogos que se observan en el par estereoscópico, por ejemplo los puntos 24 y 24' (Figura P.2.1.F). Cuando se logra la fusión de esos dos puntos se obtiene la visión tridimensional del modelo estereoscópico.

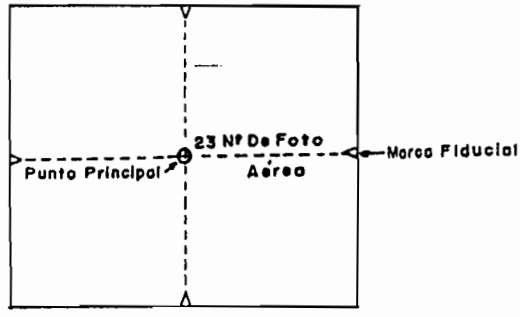
La zona que se observa tridimensionalmente corresponde a una faja de ancho que varía entre 5.50 y 6.50 cm. dependiendo del tipo de relieve.

2. Sí en esa posición no ha sido posible obtener la estereoscopía del modelo; ello puede ser debido a dos razones principales:

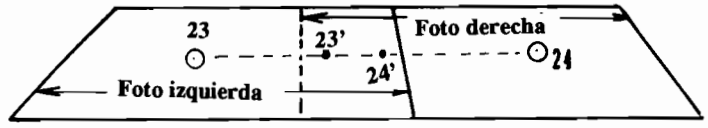
a) Las fotografías aéreas orientadas de acuerdo a 1.b no tienen la correcta distancia de separación entre los puntos 24 y 24'. Se recomienda desplazar una cantidad mínima la foto izquierda hacia la derecha o izquierda en forma paralela a la línea de vuelo hasta conseguir la fusión estereoscópica de los indicados puntos.

b) El estereoscopio no se halla bien orientado; es decir que la base del estereoscopio al observar las fotografías aéreas no se halla paralela a la línea de vuelo (Fig. P.1.2.E). Corregir el defecto girando el estereoscopio hasta conseguir el paralelismo entre la línea de vuelo y la base del instrumento.

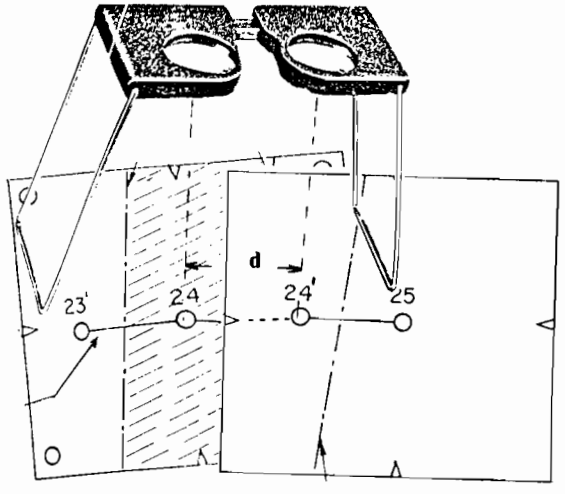
3. Los estereopares y estereotriplets, solo pueden ser observados con un estereoscopio de bolsillo, para lo cual la orientación es similar a la descrita anteriormente, pero en este caso, la parte central del estereoscopio debe hallarse coincidiendo con la unión del estereopar. (Fig P.1.2.G)



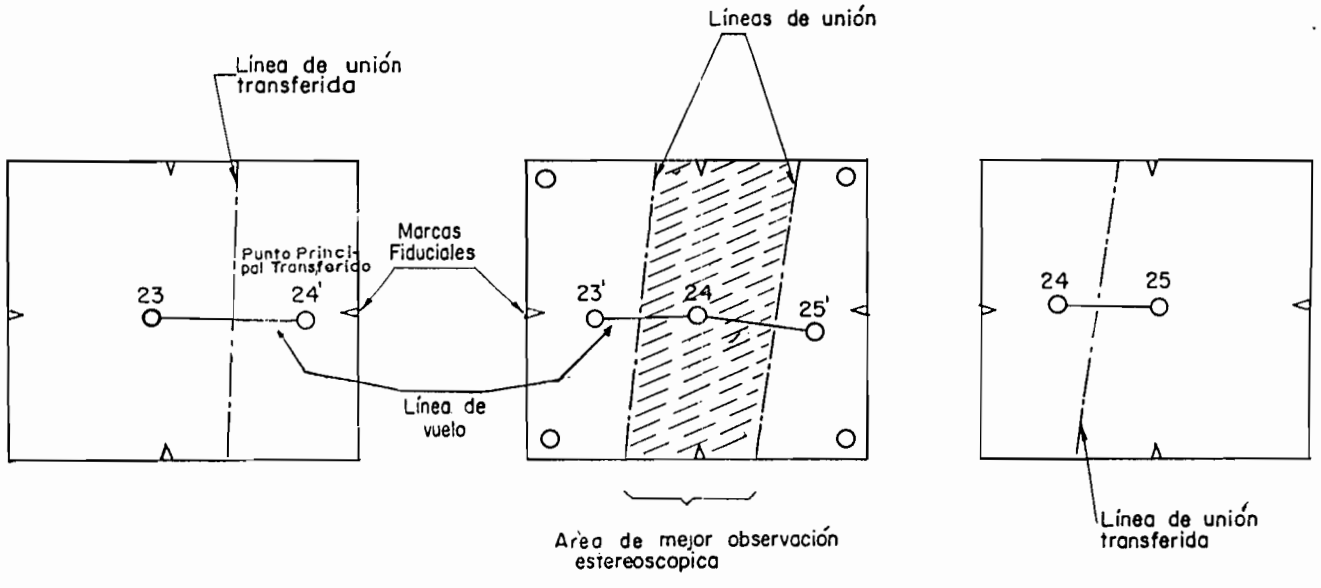
A



B

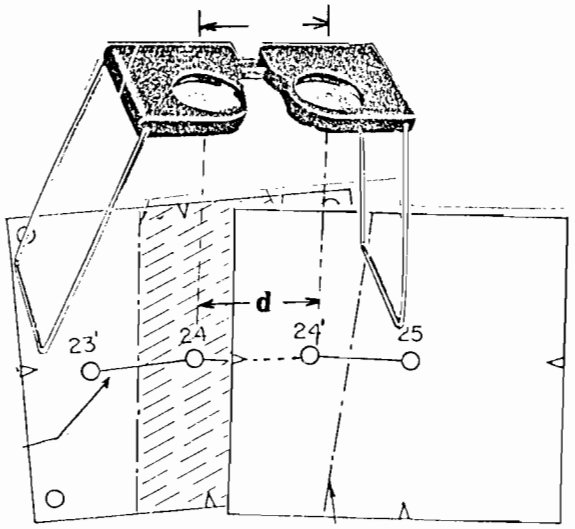


C

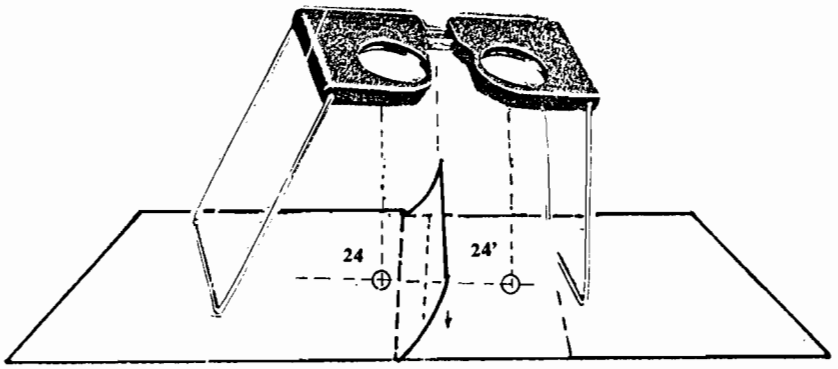


D

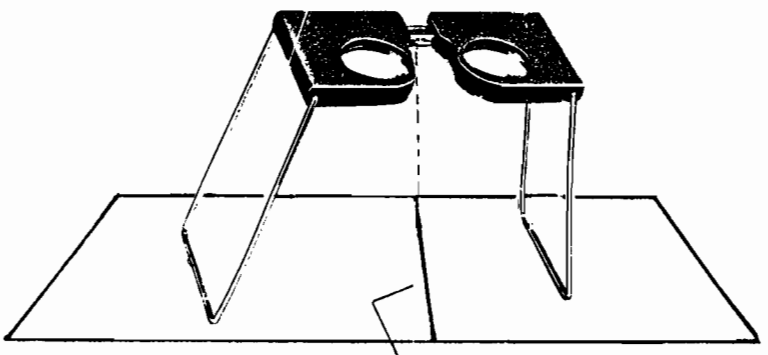
FIGURA P.1.1 (A,B.C.D.) Orientación del estereoscopio de bolsillo



E



F



G

FIGURA P.1.2 (E. F. G) Orientación del estereoscopio de bolsillo

PRACTICA N° 2
EXAMEN Y EJERCICIO PARA LA VISION ESTEREOSCOPICA

Objetivo .-

b) Comprobar la visión estereoscópica.

c) Ejercicio básico para el desarrollo de la visión estereoscópica.

Material Requerido.-

Lámina de prueba de visión estereoscópica (Zeiss); formulario de prueba para visión estereoscópica.

Examen y ejercicio para la visión estereoscópica

1. Colocar la lámina "Prueba para la Visión Estereoscópica" (Fig. P.2.1) debajo del estereoscopio de bolsillo.

2. Observar estereoscópicamente dicha lámina, hasta conseguir la visión tridimensional de los objetos de la lámina. Para ello la lámina de prueba, muestra dos figuras idénticas. Colocar la figura de la izquierda de la lámina, debajo de la lente del lado izquierdo del estereoscopio y la figura derecha debajo del lado derecho. Observar simultáneamente con ambos ojos las indicadas figuras; para obtener la visión tridimensional.

3. Una vez obtenida la sensación de profundidad de los objetos que se hallan en cada uno de los círculos numerados del 1 al 8, determinar el orden de profundidad de ellos.

4. Utilizar el formulario No 1 de prueba para la visión estereoscópica y representar en forma gráfica la posición que tienen los objetos de cada círculo de acuerdo a lo observado en la indicada lámina.(Fig. P.2.2.)

   Marcar el orden de profundidad que se observa, de manera que los objetos que se hallan en la posición más alta se hallen ocupando la situación que en el formulario se la designa como TOPE. Proceder del mismo modo con los objetos que se observan en la posición más baja debiendo ser anotadas en el formulario en la parte designada como BASE.

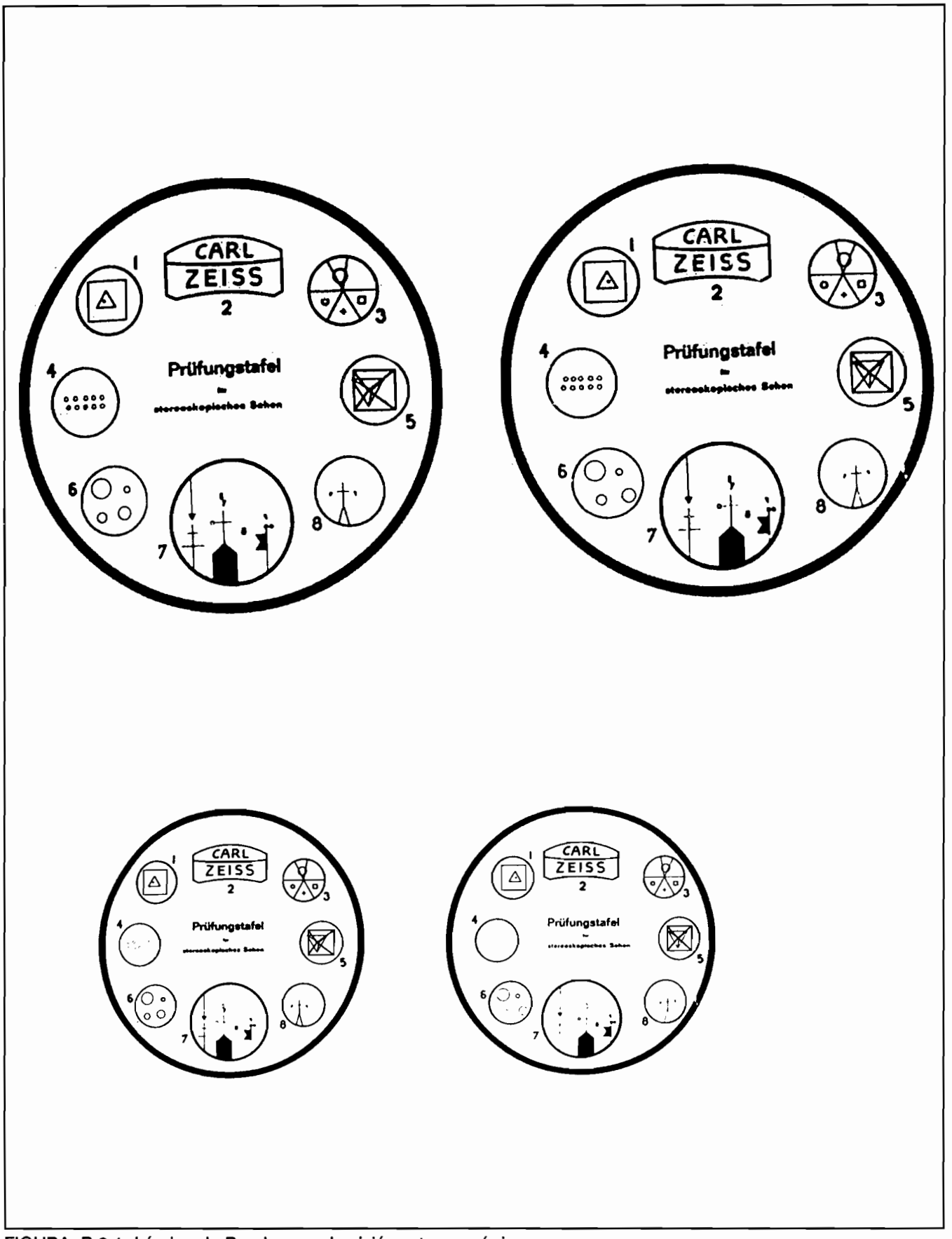


FIGURA P.2.1 Lámina de Prueba para la visión estereoscópica

FORMULARIO 1 PRUEBA PARA LA VISION ESTEREOSCOPICA

NOMBRE : _____

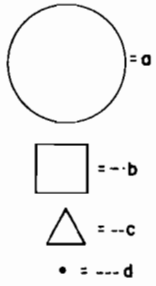
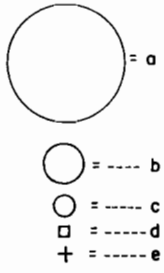
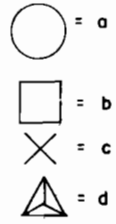
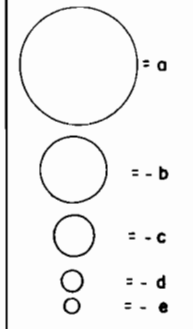
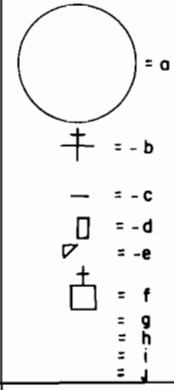
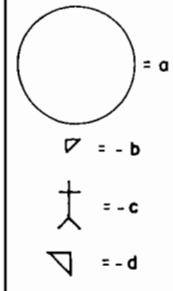
FECHA : _____

o o o o o o _____

CIRCULOS 4 :

o o o o o o _____

Favor indicar en esta lamina el orden de profundidad

	TODOS LOS CIRCULOS	Circulos 1	Circulo 3	Circulo 5	Circulo 6	Circulo 7	Circulo 8		
OBJETOS	Circulo 1 " 2 " 3 " 4 " 5 " 6 " 7 " 8								
DIRECCION DE PROFUNDIDAD	TOPE BASE	TOPE BASE	TOPE BASE	TOPE BASE	TOPE BASE	TOPE BASE	TOPE BASE	TOPE BASE	TOPE BASE

PRACTICA N° 3
ORIENTACION DE UN PAR DE FOTOGRAFIAS AEREAS EN UN ESTEREOSCOPIO DE ESPEJOS

Objeto.-

a) Aprender la orientación perfecta de las fotografías aéreas en un estereoscopio de espejos con el fin de evitar forzar la vista, y adaptarse a un sistema óptico de observación con ejes paralelos que permitan obtener una visión estereoscópica perfecta sin cansar a la vista.

b) Medir la base instrumental del estereoscopio que utiliza.

Material Requerido.-

Estereoscopio de espejos, par de fotografías aéreas con líneas de vuelo marcadas, puntos principales y transferidos: regla, lápiz negro HB, lápices de color, cinta adhesiva, goma de borrar, cartulina gruesa y blanca de 80 x 40 centímetros (Es preferible utilizar cartón duro prensado).

Instrucciones

PARTE I .- ENFOQUE DEL ESTEREOSCOPIO

1. Para obtener un buen enfoque con los binoculares del estereoscopio de espejos seguir el siguiente procedimiento:

   1.1 Determinar la distancia interpupilar del observador, (Medir con una regla la distancia entre las pupilas de ambos ojos)

   1.2 Girar el ocular izquierdo hacia la izquierda hasta que la imagen sea borrosa, luego girar a la derecha hasta que la imagen se vuelva nítida.

   1.3 Repetir el mismo procedimiento para el ocular derecho.

2. Sobre una cartulina gruesa y blanca trazar una línea horizontal (Figura P.3.1) de aproximadamente 60 cm. de largo en la parte media, la cual debe hallarse fija a su mesa de trabajo.

3. Mediante el estereoscopio de espejos, observar y colocar en el medio del campo de visión de ambos oculares la línea marcada en el punto 2.

4. Observar solo con el ojo izquierdo sobre el ocular izquierdo y marcar sobre la línea dibujada en el punto 3 los bordes del campo de vista de dicho ocular. Marcar el punto medio de los bordes del campo de vista observado y asignarle la letra "A" (Figura P.3.1)

5. Repetir el mismo procedimiento con el ojo derecho y marcar con la letra "B" el punto medio de los bordes del Campo de vista observado (Figura P.3.1)

6. La distancia AB, es la base instrumental del estereoscopio a utilizar, adaptada a la base de sus ojos. (Ver nota 1).

7. Observar con ambos ojos al mismo tiempo a través de los oculares del estereoscopio los puntos A-B anotados sobre la línea trazada en la cartulina, estos puntos al ser observados a través del estereoscopio, deben superponerse exactamente, si eso ocurre Ud. se halla observando con ejes de visión paralela una perfecta estereoscopía (Ver nota 1)

NOTA 1.-

La base instrumental utilizada puede ser más corta que la real en el caso de ojos con ejes convergentes.

Esto se notará si al tener las fotos orientadas a una distancia AB no se consigue ver estereoscopía.

Verificar del siguiente modo: Utilizar dos objetos idénticos, (Puntas de lápices) y colocarlos sobre los puntos A y B marcados en la cartulina (Figura P.3.2)

Si en esta posición las puntas de los lápices no se superponen, desplazar una distancía mínima la punta del lápiz derecho ubicada sobre el punto B a la derecha o izquierda a lo largo de la línea AB; hasta lograr que ambas se confundan. Medir la distancia de separación entre ellos y considerar esta nueva medida como la base instrumental.

No olvidar verificar de nuevo, para ver si sus ojos se han acostumbrado al sistema y se pueden mantener los ejes paralelos. Una gran desventaja de la observación con ejes no paralelos es la pérdida de recubrimiento estereoscópico de los campos de visión.

PARTE II.- ORIENTACION DE LAS FOTOGRAFIAS AEREAS.-

1. En las dos fotografías aéreas, determinar los puntos principales; realizar su transferencia y dibujar las líneas de vuelo. (Practica N°1).

2. Colocar las fotografías aéreas sobre la cartulina, donde se halla marcada la línea AB dibujada anteriormente (Pto 6); de manera que el punto principal de la foto izquierda (P1) se sobreponga sobre el punto "A" de la cartulina, y la línea de vuelo coincide con la recta AB de la cartulina. (Figura P.3.2)

3. Colocar el punto principal transferido que se halla en la foto derecha (P'1) sobre el punto "B" marcado en la cartulina,de manera que la línea de vuelo, de la fotografía aérea coincida con la recta AB de la cartulina (Fig. P.3.2).

4. Colocar el estereoscopio sobre las fotos de manera que la base del estereoscopio se halle paralela a la línea AB de la cartulina y por ende a la línea de vuelo.

5. Al observar este modelo fotográfico con el estereoscopio, obtendrá una visión tridimensional de la imagen.

6. Si se desea mejorar la visión estereoscópica puede realizar desplazamientos muy pequeños de la foto derecha a lo largo de la línea AB, hasta que perciba mejor visón.

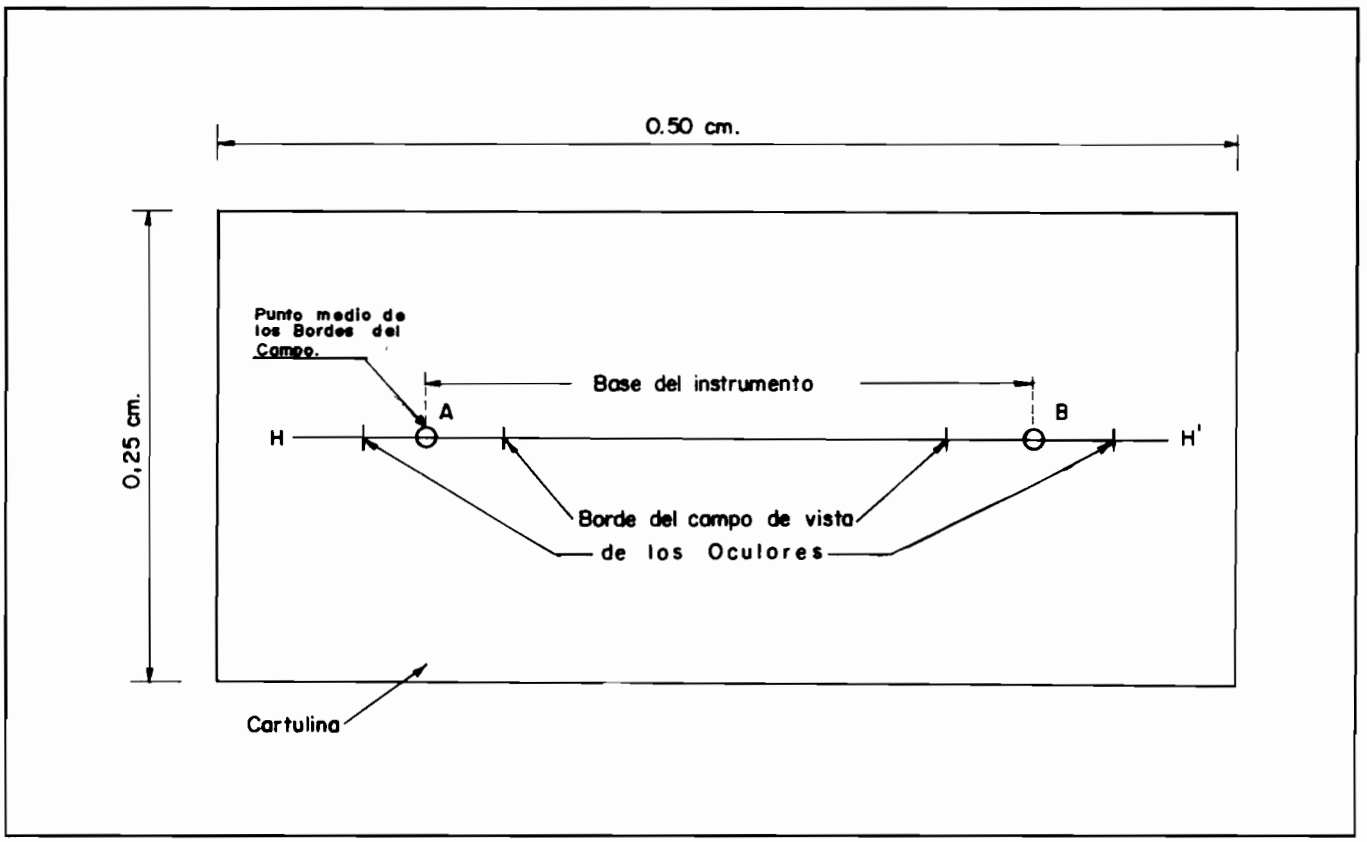


FIGURA P.3.1 Orientación del estereoscopio de espejos

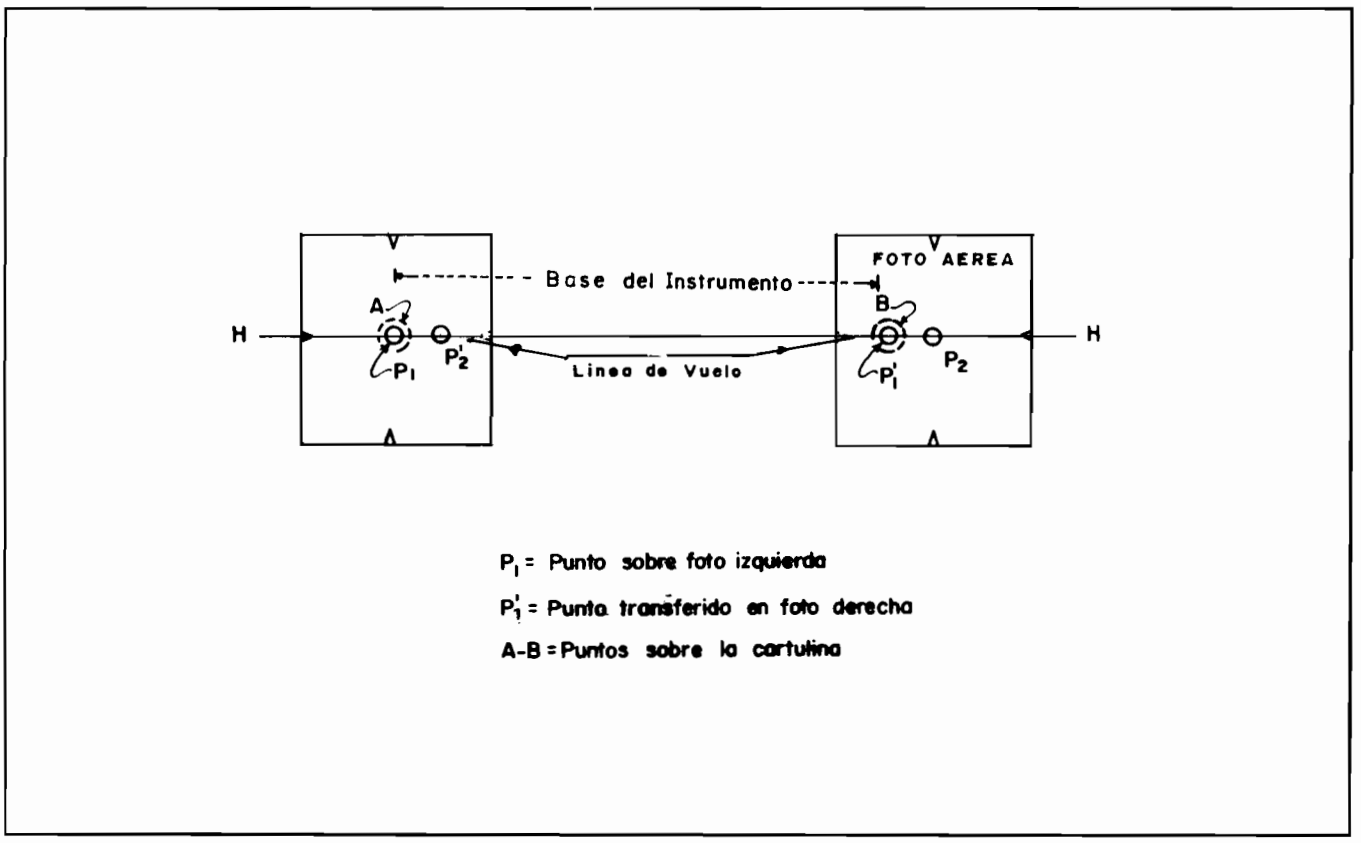


FIGURA P.3.2 Orientación del esteroscopio de espejos

PRACTICA N° 4
DETERMINACION DE LA ESCALA DE LA FOTO

Objetivo.-

a) Determinar la relación entre la escala de mapas y la escala de las fotografías.

b) Apreciar la influencia de la distancia focal de la cámara.

Material Requerido.-

Fotografías aéreas, con registro de la distancia focal de la cámara, mapa topográfico o planimétrico del área con escala conocida, escalímetro.

Instrucciones.-

METODO A

1. Identificar dos pares de puntos bien definidos; (cruce de carreteras, edificios, etc.) tanto en las fotografías como en el mapa a utilizar. La separación entre los puntos seleccionados debe alcanzar por lo menos 10 cm. En lo posible las cotas de los puntos deben ser iguales (verificar estereoscópicamente). Para evitar errores debidos a la inclinación de la fotografía, se recomienda que los puntos se hallen sobre las diagonales que pasan por el Punto Principal.

2. Medir las mismas distancias en las fotografías (df), y en el mapa dm y calcular la escala de la foto, tomando la proporción siguiente:

Em = Escala Mapa

Ef = Escala Foto

dm = Distancia Mapa

df = Distancia Foto

$$\frac{dm}{df} = \frac{Em}{Ef}$$

$$Ef = \frac{Em \cdot df}{dm} \qquad (1)$$

Repetir el mismo procedimiento para otra distancia elegida en la fotografía aérea. Promediando ambos valores obtenidos mediante la fórmula (1), se tiene la escala promedio de la fotografía aérea.

METODO B

1. Calcular la altura promedio aproximada del terreno (hm) con la ayuda de las elevaciones indicadas en el mapa topográfico.

2. Obtener la distancia principal (c) de la cámara y la altura del vuelo (Zo ó Zm) indicadas en la fotografía aérea.

Zo = Altura de vuelo sobre el nivel del mar.

Zm = Altura de vuelo sobre el terreno fotografiado.

hm = Altura promedio del terreno fotografiado.

Zm = Zo - hm

3. Calcular la escala de la foto Ef con la fórmula.

c = Distancia principal de la cámara

$$Ef = \frac{c}{Zo - hm}$$

$$Ef = \frac{c}{Zm}$$

Observaciones.-

Las alturas de vuelo que se registran en la fotografía aérea corresponden a elevaciones absolutas sobre el nivel del mar (Zo) (Fig. P.4.1)

EJEMPLOS PRACTICOS

DETERMINACION DE ESCALA DE LA FOTOGRAFIA AEREA

METODO A

dm = 68 mm.

df = 137 mm.

dm = Distancia Mapa

df = Distancia Foto

Ef = Escala Mapa

Em = Escala Foto

$$Ef = \frac{1}{x}$$

$$Em = \frac{1}{10000}$$

$$\frac{dm}{df} = \frac{Em}{Ef}$$

$$\frac{68\ mm}{137\ mm} = \frac{1/10.000}{1/x}$$

$$Ef = \frac{68 \times 10.000}{137}$$

$$Ef = 4.963$$

METODO B

c = 209,74 mm.

Zm = 1038 mt

c = Distancia Principal

Zm = Altura Promedio Vuelo

Ef = Escala Foto

$$Ef = \frac{1}{x}$$

$$Ef = \frac{c}{Zm}$$

$$Ef = \frac{1038\ mt}{209{,}74\ mm} = 4948$$

$$Ef = 5.000$$

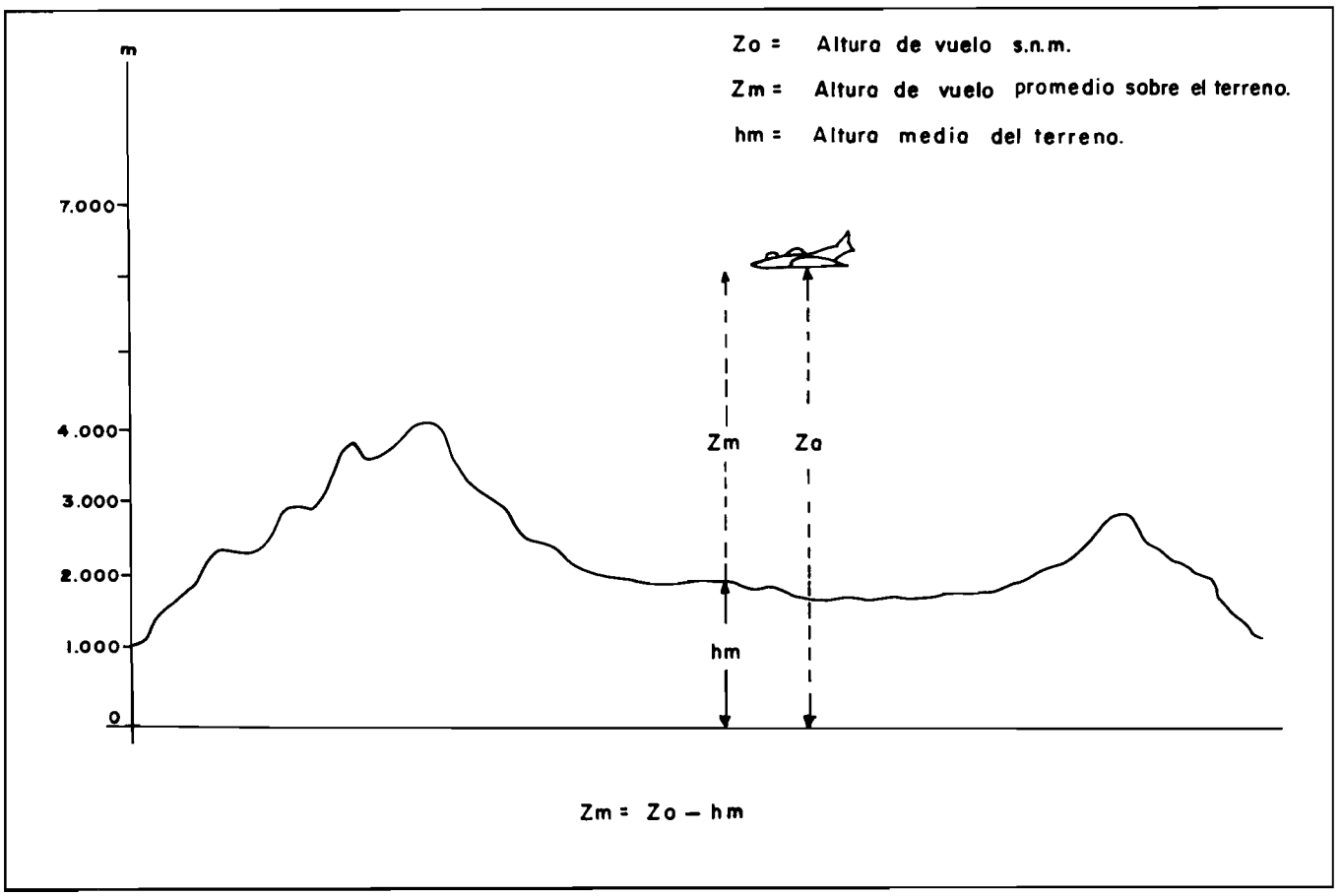


FIGURA 4.1 Determinación de escalas

PRACTICA N° 5
CONSTRUCCION DE ESTEREOGRAMAS

Material.-

Dos fotografías aéreas, estereoscopio de bolsillo, navajas u hoja de afeitar, regla, regla metálica, lápices de cera de diferentes colores, masking-tape, aguja de punta fina.

Objeto.-

Preparar modelos estereoscópicos para visualizar alguna característica que se desea mostrar en informes técnicos, publicaciones científicas, fines de enseñanza, etc.

Instrucciones.-

1. En ambas fotografías marcar los puntos principales, transferir los puntos principales, y dibujar líneas de vuelos (Practica No 2).

2. En la fotografía izquierda escojer y delimitar la zona de interés que se quiere mostrar. El ancho máximo de la zona elegida debe ser de 6 cm. (Fig. P.5.1)

   Cuando el terreno es plano,el ancho puede llegar hasta 6.5 cms. por el contrario en terrenos muy montañosos, con fuerte diferencia de relieve se aconseja trabajar con un ancho de 5.5 cm.

3. Marcar sobre la línea de vuelo de la foto izquierda, los extremos de la zona elegida en el punto dos y levante perpendiculares a la línea de vuelo desde estos extremos.

4. Transferir estereoscópicamente a la fotografía derecha las líneas perpendiculares trazadas en la fotografía izquierda para que la línea transferida sea fácilmente trazada, se recomienda tomar como referencia en cada línea cinco puntos, que se hallen igualmente distanciados entre sí y que tengan en lo posible alturas aproximadamente iguales. Marcar los cinco puntos en la foto derecha y luego unir los mismos para obtener correctamente la línea transferida.

5. Cortar con una navaja a lo largo de las líneas perpendiculares marcadas en la foto izquierda. Para que el corte sea bién realizado se recomienda utilizar una regla metálica como apoyo para la navaja.

6. Repetir el procedimiento con la foto derecha,cortando a lo largo de las líneas transferidas.

7. Juntar los segmentos cortados, de manera que la linea de vuelo del segmento izquierdo se una con la linea de vuelo del segmento derecho. En esa posición, comprobar la orientación y estereoscopía del modelo con un estereoscopio de bolsillo.

8. Comprobada la estereoscopía, pegar por el reverso los segmentos cortados, utilizando una cinta adhesiva (Masking tape - Scotch tape)

Nota: Si el corte de los segmentos está mal hecho, el trabajo final mostrará cierta separación de algunos sectores a lo largo de las uniones.

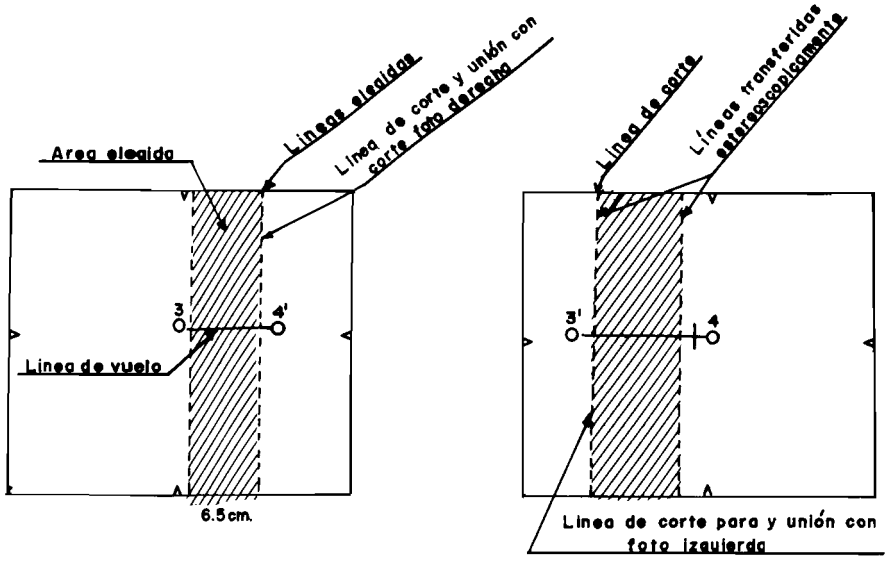


FIGURA P. 5.1 Construcción de estereogramas

PRACTICA N° 6
CONSTRUCCION DE ESTEREOTRIPLETS

Objetivo.-

Preparar modelos estereoscópicos, para visualizar alguna característica importante que se desea mostrar en informes técnicos, publicaciones científicas, fines de enseñanza,etc.

Material.-

Tres fotografías aéreas, estereoscopio de bolsillo, regla, lápices de cera de diferentes colores, aguja de punta fina, navaja u hoja de afeitar, Masking-tape.

Instrucciones.-

1.. Marcar en las tres fotografías aéreas los puntos principales, puntos principales transferidos y líneas de vuelo. (Practica 2).

2. En la foto central las líneas de vuelo por lo general no coinciden con una recta. Para trabajar con referencia a una sola línea de vuelo, se debe encontrar "La Línea de Vuelo Promedio", la cual puede ser hallada de dos maneras.

   a) Determinando la bisectriz de los ángulos que forman la prolongación de las líneas de vuelo con el punto principal de la foto aérea (Fig. P.6.1)

   b) Si las dos líneas de vuelo no muestran mucha diferencia en sus direcciones,se recomienda unir los dos puntos principales transferidos, sin importar si la línea pasa por el punto principal de la foto aérea.

3. Del punto principal de la foto central, trazar una perpendicular a la línea de vuelo promedio (Fig. P.6.1)

4. Sobre la línea de vuelo promedio, a partir del punto principal, medir a derecha y a izquierda 6 cms. Marcar los extremos de la distancia medida y trazar perpendiculares a la línea de vuelo promedio. El ancho de 6 cms puede variar entre 5.5 y 6.5 cms, de acuerdo al relieve del terreno.

5. Las tres líneas perpendiculares trazadas en la foto central deben ser transferidas estereoscópicamente a las fotos derecha e izquierda. Para realizar la transferencia de estas líneas seguir el procedimiento indicado en la práctica No 5.

6. En la foto central cortar con una navaja a lo largo de las dos líneas perpendiculares trazadas a derecha e izquierda del punto principal.

   "No cortar a lo largo de la línea perpendicular que pasa por el punto principal de la foto aérea".

7. En las fotos derecha e izquierda cortar las líneas transferidas en el punto 5.

8. Unir el segmento cortado de la foto derecha con el de la foto central, cuidando que las líneas de vuelo de ambos segmentos, se hallen en la misma línea,compruebe la orientación y estereoscopía del modelo con un estereoscopio de bolsillo.

9. Comprobada la orientación y estereoscopía del modelo, pegue por el reverso con una cinta adhesiva (Tessa Film, Masking Tape).

10. Repetir el mismo procedimiento con el segmento cortado de la foto izquierda.

11. Recortar los bordes superior e inferior del estereotriplet construido, para obtener una forma regular del mismo.

Nota: Si el corte de los segmentos está mal hecho, el trabajo final mostrará cierta separación de algunos sectores a lo largo de las uniones.

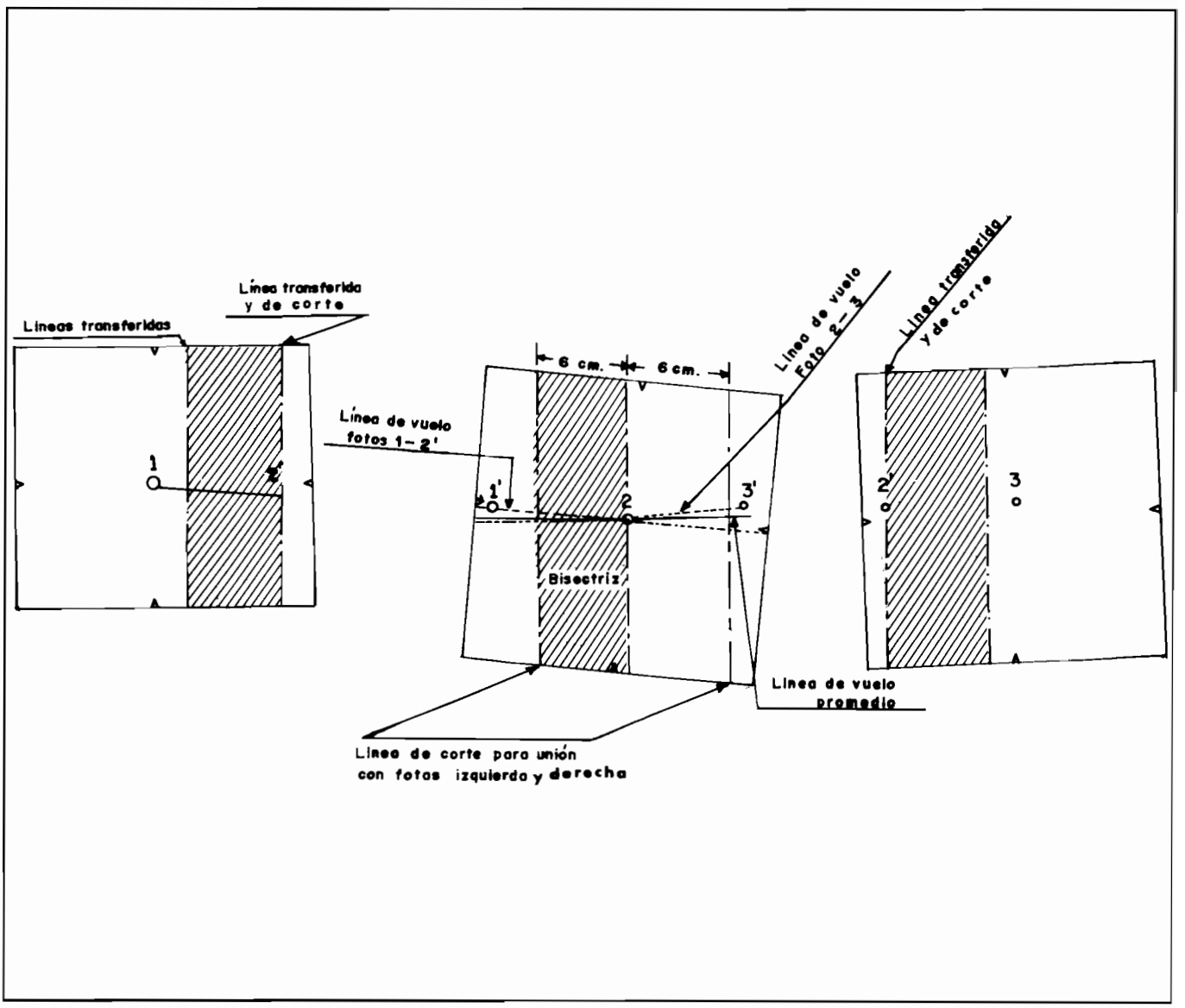


FIGURA P.6.1 Construcción de Estereotriplets

PRACTICA N° 7
GUIAS DE ANALISIS GEOMORFICO Y GEOLOGICO EN LA INTERPRETACION DE FOTOGRAFIAS AEREAS

Objeto.-

Identificar en las fotografías aéreas; formas; estructuras, litología y otras características geológicas y geomorfológicas de una determinada región.

Material Requerido.-

Fotografías aéreas de diferentes zonas, estereoscopio de bolsillo, estereoscopio de espejos, papel folia para anotar lápices de cera (colores: rojo,verde, azul y negro)

Instrucciones.-

Las siguientes características deben ser observadas en las fotografías aéreas .

I. INFORMACION GENERAL

I.1 Ubicación de la fotografía aérea

1) Indicar el número de las fotografías aéreas. Si es posible indicar el número de la línea de vuelo, nombre del plan de vuelo, altura de vuelo, hora y fecha de la toma. (Estos datos por lo general se hallan como información marginal en la fotografía aérea).

2) Si las fotografías aéreas, estan acompañadas por mapas topográficos, investigar los siguientes puntos:

   a) Parte del mundo o de Bolivia que Ud. se halla observando.

   b) De acuerdo a la literatura existente, obtenga una idea de la estratigrafía y estructura del área.

   c) Determine la escala de la fotografía aérea.

   d) Con la ayuda del mapa, señalar aproximadamente la dirección del Norte magnético.

3) Dar una idea de las condiciones climáticas actuales de la zona estudiada.

   Si es posible dar una opinión de la existencia de los cambios climáticos durante el Pleistoceno.

II. RELIEVE

a) Dar una idea general sobre los rasgos del relieve.

b) Dar una apreciación de las diferencias de elevación entre el punto más alto y más bajo en cada unidad de relieve.

   Si existe mapa topográfico comparar los datos estimados con los existentes en el mapa topográfico. A modo de comprobación se puede utilizar la barra de paralaje.

III. CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

III.1 Formas debidas a la acción fluvial.-

- Erosión fluvial

Observar y describir:

a) Distribución de valles, densidad de drenaje y textura de drenaje.

b) Cuencas de drenaje y subcuencas. Divisorias principales y secundarias.

c) Diseños de drenaje (dendrítico, parrilla, etc.)

d) Características individuales de los cursos principales (rectos, meándricos, trenzados, etc.)

e) Identificar y diferenciar los ríos permanentes e intermitentes.

f) Captura de ríos, tipos de captura, formas, etc.

g) Perfiles longitudinales de los ríos principales.

h) Perfiles transversales de los valles (simetría o asimetría).

i) Terrazas (clasificación de terrazas - estimar alturas relativas entre niveles. Realizar la interpretación geomórfica.

j) Clasificación de los valles.

- Formas de acumulación o deposición fluvial

a) Abanicos aluviales - Conos aluviales - Bajadas

b) Llanuras aluviales, sus depósitos y formas asociadas

c) Deltas- tipos.

III.2 Remoción de masa

a) Tipos de remoción de masa:

Flujo lento.

Flujo rápido.

Deslizamientos.

Hundimientos.

b) Representar gráficamente el rasgo identificado mediante perfiles.

c) Dar una idea de la magnitud de estos movimientos.

Nota: En la clasificación de la remoción en masa, se recomienda utilizar la propuesta por Sharpe, aunque para fines más específicos se pueden utilizar otras clasificaciones ya sea de acuerdo a la superficie deslizante, a la clase de material removido, estado de su desarrollo, etc.

III.3 Formas debidas al vulcanismo

a) Identificar tipos de erupción.

a1) Erupción tranquila y formas asociadas.

a2) Erupción explosiva

III.4 Formas debidas a procesos de glaciación

a) Identificar el tipo de glaciación: (continental, alpino o montaña, etc.)

b) Formas de erosión glacial: (circos, aretes, agujas, valles, valles colgantes, lagos, llanuras de abrasión glacial)

c) Formas de deposición: (morrenas, laterales, terminales, de fondo, llanuras de till, drumlins, etc).

d) Formas glacifluviales: (llanuras fluvioglaciares, kames, eskers, etc).

III.5 Formas características de climas áridos y semiáridos

a) Relleno de cuencas - drenaje centripetal.

b) Valles secos, ríos intermitentes - Uadis.

c) Salares.

d) Bajadas, abanicos.

e) Pedimentos, pediplanicie, glacis.

f) Características y desarrollo de taludes.

h) Efectos de la acción del viento: (dunas-barjanés-llanuras de loess).

Ajuste de Relieve al Control Estructural y Litológico

a) Identificar tipo de paisaje: (Mesa - Cuesta - Hog Back).

b) Identificar la orientación del sistema de valles con respecto al rumbo y buzamiento de la estructura.

c) Identificar el drenaje controlado por fallamiento o litología.

d) Efecto de rocas solubles - topografía karstica: (dolinas uvalas-poljes, drenaje interno, etc).

e) Identificar valles anticlinales, sinclinales, serranías anticlinales, homoclinales, sinclinales, de falla.

f) Identificar si existe inversión de relieve o relieve normal.

IV. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y FOTOGEOLOGICAS

IV.1 Litología

1. Identificar en base a la expresión tonal, morfológica y otros criterios, los diferentes tipos de litología. a) Rocas sedimentarias b) Rocas ígneas c) Rocas metamórficas d) Sedimentos.

a) Rocas sedimentarias: (Areniscas, lutitas, calizas, conglomerados, arcillas). Realizar una detallada descripción de sus características.

Expresión morfológica, estratificación, rumbo, buzamiento, características generales de la estratificación (bancos gruesos, delgados) Diaclasamiento, foliación, esquistosidad, textura de tono, diseño de tono.

b) Rocas ígneas: b1) intrusivas b2) extrusivas.

b1) Intrusivas (ácidas, básicas, intermedias). Expresión morfológica, diaclasamiento, relación con rocas adyacentes y las estructuras. Tipos de diques, stocks, cuerpos intrusivos menores, etc.

b2) Extrusivas: (Acidas, básicas, intermedias). Expresión morfológica, relación con rocas adyacentes y estructuras, diaclasamiento.

c) Rocas metamórficas - características y expresión morfológica, relación con rocas adyacentes, diaclasamiento.

d) Depósitos de origen fluvial, eólico, glacial, etc.

IV.2 Estructura Geológica

1. Tipos de estructura a) pliegues b) fallas.

a) Clasificación de los pliegues: Anticlinales, sinclinales y sus clasificaciones. (Simétricos, asimétricos, normales, volcados, etc.). Hundimiento de los pliegues.

b) Discordancias, tipos.

c) Fallas - expresión morfológica y tipos.

d) Identificar escarpes de falla, escarpes de líneas de falla, escarpes de línea de falla obsecuente, resecuentes, etc.

V. LINEAMIENTOS

1. Identificar lineamientos en las fotografías aéreas, lineamientos fotogeológicos expresados por alineamiento de drenaje, segmentos de ríos, vegetación, topográficos, tonales.

VI. ANOMALIA DE DRENAJE

1. Identificar los diferentes tipos de lineamiento:
   - Deflexión simple, doble, angularidad, cambios de densidad, drenaje, etc.

VII. ANOMALIAS TONALES

1. Describir las formas de estas anomalías.
   - Regulares, irregulares, lineares, etc.

PARTE IV

DESCRIPCION DE LOS MODELOS ESTEREOSCOPICOS

INTRODUCCION

Los modelos estereoscópicos que se presentan, corresponden a ejemplos del territorio boliviano, que han sido seleccionados con el propósito fundamental de mostrar las características geológicas y geomorfológicas más objetivas y fáciles en su identificación, de manera que permita al que se inicia en esta técnica, saber usar rápida y adecuadamente los criterios fotogeológicos para la interpretación de fotografías aéreas, discutidos en el primer tomo del texto.

Entre los modelos elegidos, se hallan además, algunos cuya interpretación es más compleja y difícil, requiriendo de mayor práctica en la interpretación, la que podrá ser lograda a través de la observación detallada y cuidadosa de los 113 modelos estereoscópicos que contiene el texto.

La descripción detallada de cada modelo estereoscópico se la ha preparado utilizando una base de datos, en la que se ha acumulado la información en base a cuatro grupos de información.

En el primer grupo de información, se hallan todos aquellos datos relacionados con la ubicación geográfica del modelo estereoscópico, incluyendo además información relacionada con su ubicación en los mapas geológicos y topográficos a diferentes escalas, utilizando para ello, la numeración que corresponde a la distribución de hojas topográficas de la carta nacional, empleada por el Instituto Geográfico Militar de Bolivia.

El segundo grupo, se halla constituído por datos relacionados con las características geológicas del modelo, especialmente los que se detallan a continuación: Tipo de roca, clase de roca, edad geológica, formación geológica, estructura geológica, estratificación, fallas geológicas, discordancias, intrusiones, vulcanismo, etc. En algunos modelos fotográficos, se han utilizado letras para marcar algún rasgo característico de importancia, que se indica en la descripción de los indicados modelos estereoscópicos.

El tercer grupo, contiene información sobre las características geomorfológicas del modelo, entre las que se incluyen además las relacionadas con los procesos de glaciación, acción fluvial, acción eólica.

El cuarto y último grupo, ofrece información relacionada con las características fotogeológicas del modelo, especialmente aquellas referentes a los criterios de observación fotogeológica, tales como : Diseños de drenaje, textura de drenaje, diseño de tono, textura de tono, diseño de vegetación, anomalías y observaciones.

Con estos cuatro grupos de información, se ofrece un cuadro casi completo de las características geológicas y geomorfológicas de los modelo estereoscópicos. Es de suponer que muchas de las casillas en los diferentes modelos, no contengan información, en algunos casos por no existir ese tipo de información en el modelo, y en otros casos se espera que el estudiante o el usuario del texto pueda aumentar la información, que para su criterio ha sido obviada o no observada por el autor del texto, responsable de la interpretación de los modelos estereoscópicos.

Por último acompañan a esta descripción varios anexos, que han sido formateados, con la ayuda de la base de datos, con el propósito de ayudar al estudiante en la selección rápida de algún

modelo, que contenga alguna información específica de su interés sin tener que revisar los 113 modelos para conseguir aquella información.

Por ello, los anexos han sido realizados en forma alfabética, con la información que se supone será la más requerida. Entre ellas se puede mencionar, la información clasificada de acuerdo a los siguientes datos:

Tipo de roca, clase de roca, ubicación por departamentos y provincias, sistema estratigráfico, formación geológica, fallas, diseños, etc.

Para facilitar la rápida selección de un modelo en base a la información clasificada anteriormente, se ha utilizado la numeración que los modelos estereoscópicos tienen en las láminas del texto. Esta numeración ha sido puesta en una columna designada con el nombre de Código en los anexos.

MODELO ESTEREOSCOPICO 1

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 01036 **FAJA DE VUELO** 4

MISION VUELO 385 **FECHA DE TOMA** 09/01/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Laguna Acero Khocha - Vacas **ELEVACION** 3403 Mts.

PROVINCIA Arani **COORDENADAS** Lg. 65/35W Lt. 17/35S

DEPARTAMENTO Cochabamba

ESCALA DE LA FOTO : Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA :

HOJAS TOPOGRAFICAS :

ESCALAS : 1:250.000.- SE-20-05 1:100.000.- 6441 1:50.000.- II 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternancia Areniscas y Lutitas - Depósitos Aluviales

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Cuarternario

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Se observa estratificación en bancos de areniscas cerca de la localidad de Vacas.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Los procesos geomórficos más importantes que se observan en el modelo corresponden a los de la acción de deposición fluvial.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL La acción de la deposición fluvial en el área es muy importante. Se observan abanicos aluviales de dimensiones muy grandes.

EROSION FLUVIAL Si

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos aluviales

LACUSTRE Si

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dicotómico en abanicos aluviales

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Baja y media en areniscas

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 2

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 01792 **FAJA DE VUELO** 12

MISION VUELO 173 **FECHA DE TOMA** 05/23/63 **PLAN DE VUELO** Kusera

LUGAR DE TOMA Laguna Chiar Kkota - Co. Condoriri **ELEVACION** 5024 Mts.

PROVINCIA Los Andes **COORDENADAS** Lg. 68/14W Lt. 16/14S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA Milluni

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-03 1:100.000.- 5945 1:50.000.- II 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas, alternancia areniscas-lutitas. Granito

EDAD GEOLOGICA Ordovícico-Silúrico-Triásico-Jurácico

FORMACION GEOLOGICA Llallagua, Uncia, Catavi

ESTRUCTURA GEOLOGICA Los efectos de glaciación, la fuerte fracturación y diaclasamiento de las rocas impiden determinar con facilidad la estratificación de la serie sedimentaría. La estructura corresponde a un homoclinal buzando hacia el E. El diaclasamiento permite diferenciar los tipos de roca presentes.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Los efectos de glaciación, fracturación y diaclasamientos dificultan observar la estratificación en algunos de los sectores de la foto.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** Muy acentuado

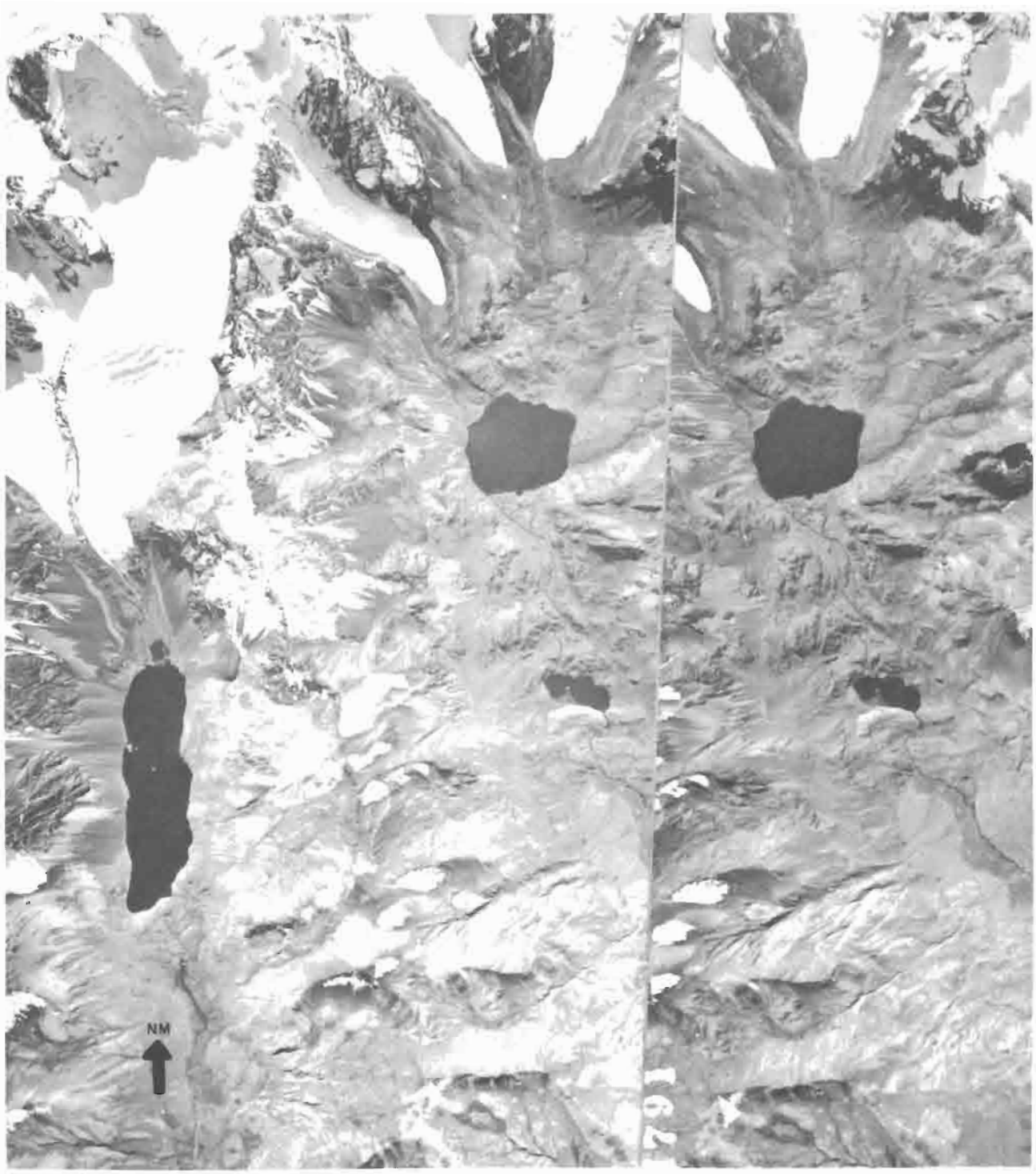
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


NM

MODELO ESTEREOSCOPICO 3

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 00139 **FAJA DE VUELO** 4

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** **PLAN DE VUELO**

LUGAR DE TOMA Río Pirai **ELEVACION** 400 Mts.

PROVINCIA Andrés de Ibañez **COORDENADAS** Lg. 63/25W Lt. 17/48S

DEPARTAMENTO Santa Cruz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:20000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-6 1:100.000.- 6940 1:50.000.- IV 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Arena

EDAD GEOLOGICA Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Este modelo muestra un ejemplo tipo de geoformas asociadas con procesos eólicos, especialmente debidos a la acumulación eólica. Se observan dunas transversales, tipo Barjan.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO** Dunas Barjan

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

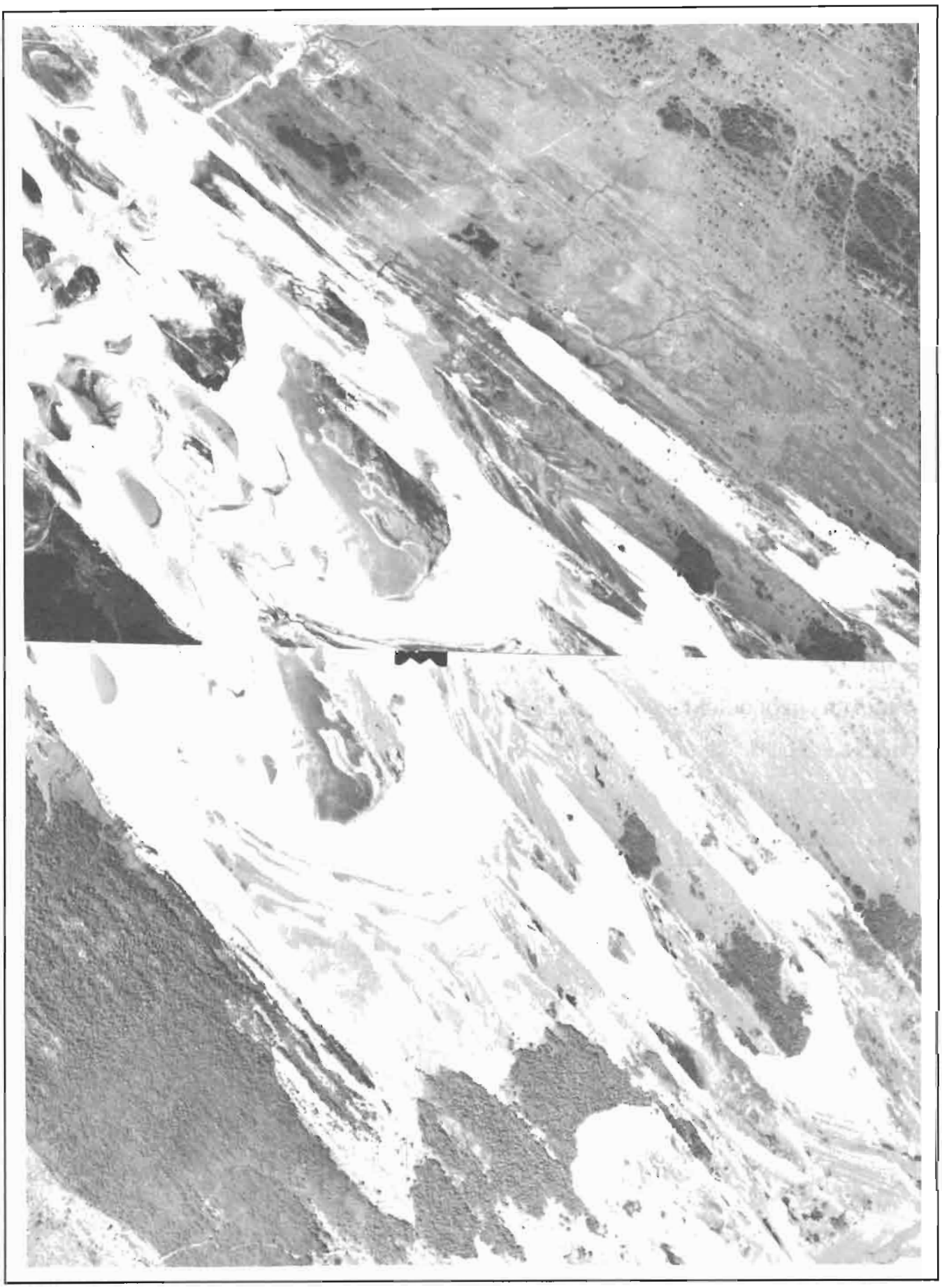
DISEÑO DE DRENAJE

TEXTURA DE DRENAJE **DENSIDAD DE DRENAJE**

DISEÑO DE TONO **TEXTURA DE TONO** Suave

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS**

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 4

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 00802 **FAJA DE VUELO** 10

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/25/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA La Viña **ELEVACION** 3368 Mts.

PROVINCIA Esteban Arce **COORDENADAS** Lg. 65/50W Lt. 17/57S

DEPARTAMENTO Cochabamba **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1: 40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-05 1:100.000.- 6440 1:50.000.- III 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Calizas - Arcillas - Conglomerados y Areniscas

EDAD GEOLOGICA Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Torotoro - Molino - Sta Lucia - Cayara - Soyco

ESTRUCTURA GEOLOGICA Estructura Sinclinal en rocas cretácicas.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Rocas bien estratificadas, Dips Slopes y Flatirons bien desarrollados

FALLAS GEOLOGICAS Se observan alineamientos transversales al rumbo de la estructura en la Formación Soyco que coinciden con segmentos de ríos, lo que sugiere un control debido a fallamiento. (G)

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** Si

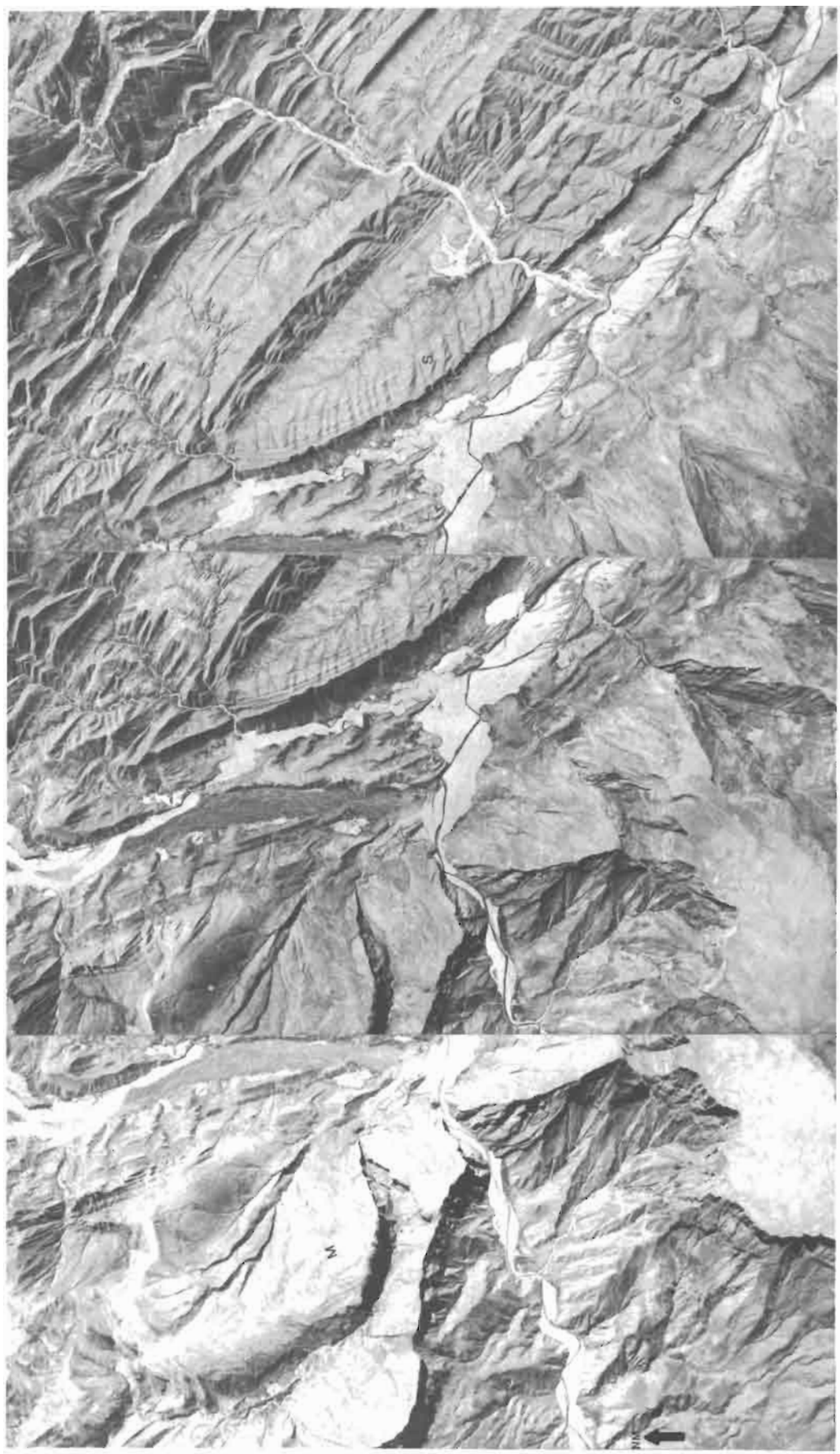
DISCORDANCIA Cretácico - Terciario

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS



CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La estructura y la litología controlan el paisaje. Desarrollo de serranías y valles homoclinales -Valle Sinclinal.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Muy activa

ACUMULACION FLUVIAL Depósitos aluviales en río principal

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla con dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Fina a media

DENSIDAD DE DRENAJE

DISEÑO DE TONO Bandeado - tonos uniformes

TEXTURA DE TONO Media-Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS De drenaje

OBSERVACIONES Al Oeste de la localidad de la Viña y del río Caine se levantan serranías constituidas por calizas de la Formación El Molino.

MODELO ESTEREOSCOPICO 5

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 28620 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO 167 **FECHA DE TOMA** 05/28/56 **PLAN DE VUELO** Hykon

LUGAR DE TOMA Achocalla **ELEVACION** 3760 Mts.

PROVINCIA Murillo **COORDENADAS** Lg 68/10W Lt 16/35S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS La Paz

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-03 1:100.000.- 5944 1:50.000.- II 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Arcillas, conglomerados poco consolidados y Conglomerado

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA La Paz, Pura Purani, Torrente de barro

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Difícil de identificar.

FALLAS GEOLOGICAS Se observan alineamientos muy marcados que coinciden con zonas de fallamientos (E).

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El paisaje se halla modelado por la acción de los torrentes de barro de Achocalla (B) y Llojeta (C). El torrente de mayor magnitud es el de Achocalla. En la foto aérea se puede observar la cuenca de aprovisionamiento, que es el resultado de la activación de varios movimientos (deslizamientos, derrumbes) en varias subcuencas y en diferentes tiempos los que al integrarse dieron como resultado la morfología de la cuenca de aprovisionamiento que en conjunto muestra una forma alveolar. En la foto se puede identificar ocho subcuencas de diferentes edades, las más antiguas muestran un relieve más suavizados casi horizontal y un nivel más alto que las otras.(8-7) La continuación de esta cuenca es la lengua que continua hasta Mallasa - Lipari con una longitud aproximada de 20 Km. Los escarpes de las subcuencas determinan el borde de la ceja del El Alto. La superficie horizontal de la zona de El Alto se halla constituída por gravas del altiplano y sobre ellas se ve un alineamiento marcado que coincide con un río y corta las carreteras y el aeropuerto. Este alineamiento coincide con una zona de falla.(E)

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Muy intensa

ACUMULACION FLUVIAL Muy intensa

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico muy alta densidad

TEXTURA DE DRENAJE Fina

DENSIDAD DE DRENAJE

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave - Media

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamientos (E)

OBSERVACIONES


C
B
E
NM

MODELO ESTEREOSCOPICO 6

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 02454 **FAJA DE VUELO** 42

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/01/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Cerro Campana **ELEVACION** 3950 Mts.

PROVINCIA Ladislao Cabrera **COORDENADAS** Lg. 67/01W Lt. 19/39S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox.1: 50000

HOJA GEOLOGICA Tambillo

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-16 1:100.000.- 6135 1:50.000.- II 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Arenisca, calizas, margas, arcillas, lutitas, lutitas yesíferas

EDAD GEOLOGICA Permo Triásico - Cretácico

FORMACION GEOLOGICA Campana, Mulasi, Coroma, Pahua

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa una estructura Diapírica. El núcleo del anticlinal se halla cortado por lutitas yesíferas.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS** Si

ESTRATIFICACION Las rocas se hallan bien estratificadas pero disturbadas por efecto del diapiro.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

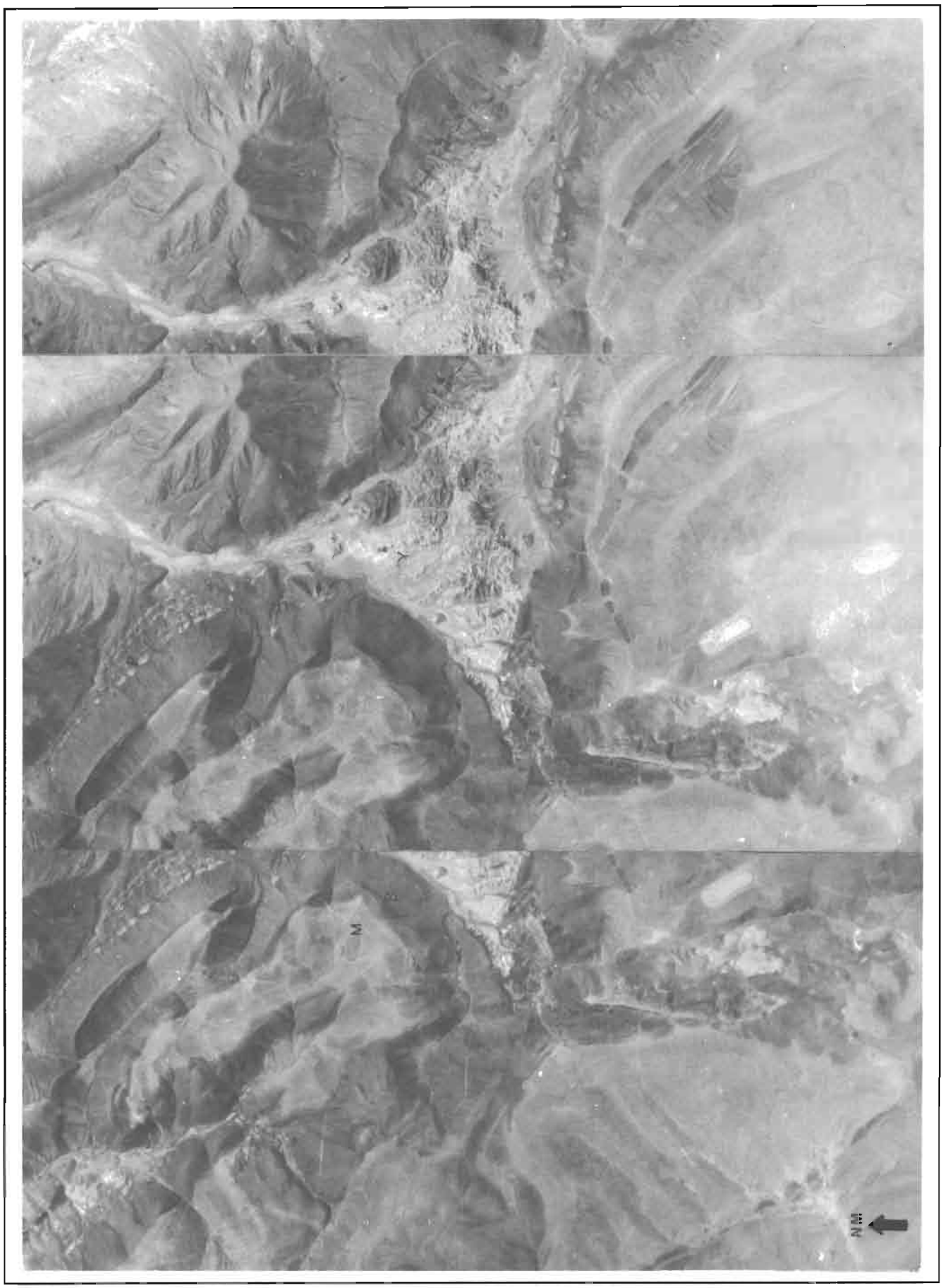
DISCORDANCIA Si

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


M
NM

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Los efectos de la acción fluvial son importantes en el modelado del paisaje. Se observa un ajuste de drenaje al control que ejerce la estructura y la roca.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Si

LACUSTRE Depósitos lacustres

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Fino en diseño dendrítico

DENSIDAD DE DRENAJE

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonales-Drenaje

OBSERVACIONES Los nombres que se utilizan para designar a las Formaciones Geológicas; corresponden a las utilizadas por el Servicio Geológico de Bolivia, para la región del Altiplano. Estudios recientes pueden modificar estos nombres.

MODELO ESTEREOSCOPICO 7

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 01833 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/10/53 **PLAN DE VUELO**

LUGAR DE TOMA Sayhuani Pampa (Cordillera La Paz) **ELEVACION** 4300 Mts.

PROVINCIA Los Andes **COORDENADAS** Lg. 68/31W Lt. 16/03S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-03 1:100.000.- 5845 1:50.000.- I 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Till - Areniscas - Conglomerados

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Sorata

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION En el borde inferior del modelo se observa bancos de areniscas bien estratificados.

FALLAS GEOLOGICAS Se observan alineamientos muy marcados (E) que podrían corresponder a zonas de fallamientos.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El paisaje se halla modelado por la acción de la glaciación y la posterior acción fluvial. Se observan morrenas laterales, cuyas posiciones y orientaciones sugieren diferentes direcciones de los movimientos del glaciar. En el valle principal limitado por dos morrenas se observan morrenas más pequeñas que sugieren etapas de mermas del glaciar. En la terminación de los valles se observan depósitos fluvioglaciares.

GLACIACION El modelo es un ejemplo tipo de un paisaje de glaciación asociado a depósitos y formas de acumulación glacial.

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales

FLUVIO GLACIAL Si

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Si

LACUSTRE Si

EOLICO No

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Trenzado y anárquico localmente

TEXTURA DE DRENAJE

DENSIDAD DE DRENAJE

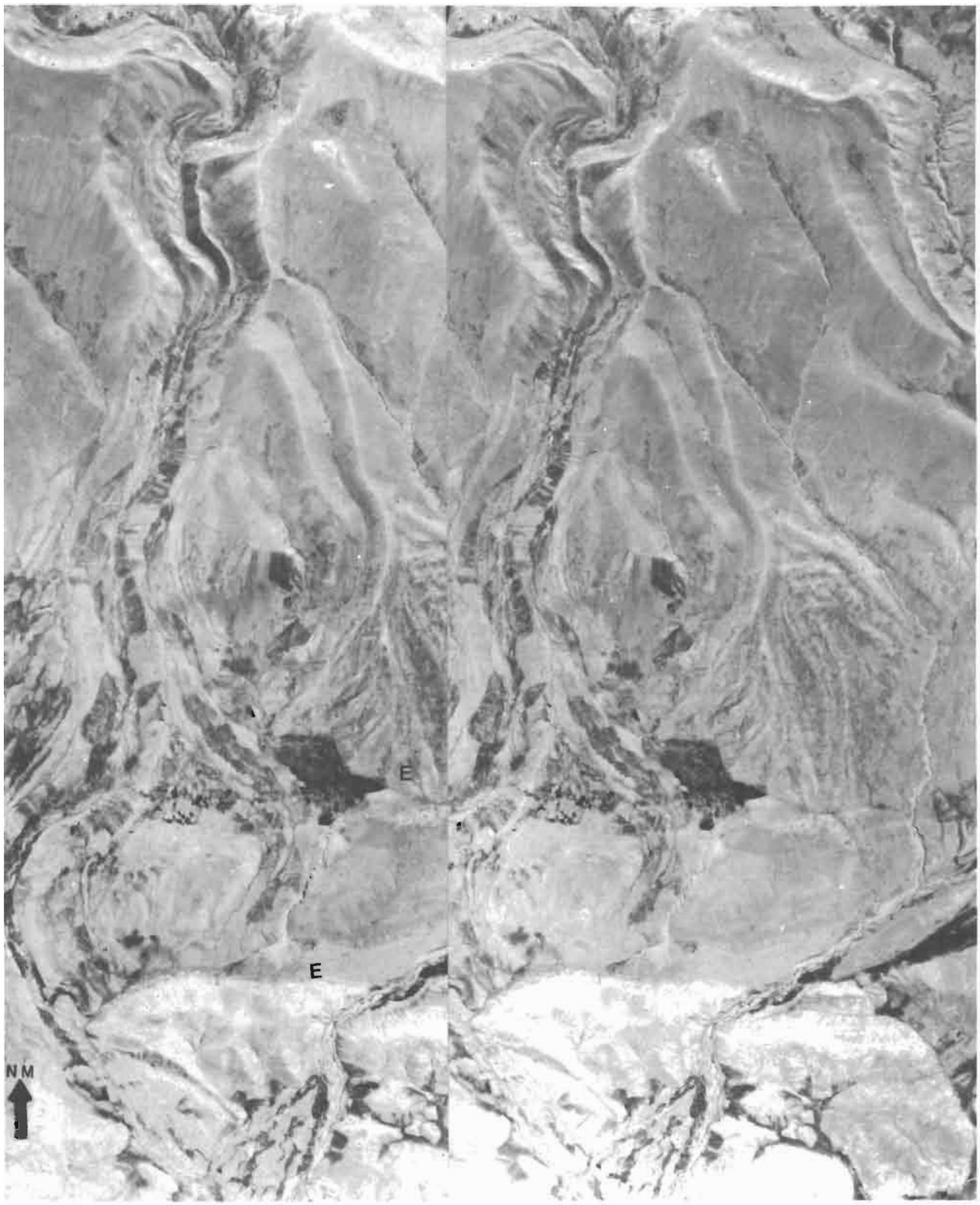
DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES


E
E
NM

MODELO ESTEREOSCOPICO 8

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 03522 B **FAJA DE VUELO** 18

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/01/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Chayanta - Pujro **ELEVACION** 3780 Mts.

PROVINCIA Rafael Bustillo **COORDENADAS** Lg. 66/28W Lt. 18/27S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6338 1:50.000.- IV 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION** Si (B)

CLASE DE ROCA Alternancia de areniscas y lutitas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico, Silúrico

FORMACION GEOLOGICA Cancañiri-Amutara

ESTRUCTURA GEOLOGICA La interpretación estructural del modelo es complicada. Los estratos se hallan muy plegados y afectados por fallas longitudinales de alto ángulo.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Se observa estratificación fina especialmente en la formación Amutara.

FALLAS GEOLOGICAS Para la identificación de fallas se debe necesariamente utilizar criterios estratigráficos; convergencia y truncamiento de estratos.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


NM
B
A
CHAYANTA

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Debido al carácter casi homogéneo de las rocas la acción de la erosión es uniforme, razón por la cual no se observan rasgos geomórficos sobresalientes en el área con excepción del ajuste del drenaje al rumbo general de los estratos.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Si - Terrazas **ACUMULACION FLUVIAL** SI

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE

TEXTURA DE DRENAJE Media a fina **DENSIDAD DE DRENAJE**

DISEÑO DE TONO Bandeado **TEXTURA DE TONO** Suave a media

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** Tonal

OBSERVACIONES Este modelo muestra un ejemplo en que la anomalía tonal constituye un criterio muy importante para ubicar el contacto entre las formaciones Cancañiri y Amutara. Además esta anomalía tonal, puede ser utilizada en el área como importante guía mineralógica ya que podría tratarse de alteración hidrotermal asociada a probable mineralización de antimonio - oro existente en la zona .

MODELO ESTEREOSCOPICO 9

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 00278 B **FAJA DE VUELO** 23

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/10/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Norte de Pocoata - camino Lagunillas **ELEVACION** 3950 Mts.

PROVINCIA Chayanta **COORDENADAS** Lg. 66/13W Lt. 18/41S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6337 1:50.000.- I 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION** Si

CLASE DE ROCA Alternancia de areniscas y lutitas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico, Silúrico

FORMACION GEOLOGICA Cancañiri - Amutara

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa una estructura homoclinal.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las areniscas de la formación Amutara se hallan bien estratificadas y desarrollan dip slopes o pendientes estructurales fáciles de identificar en el modelo por la forma triangular que muestran los planos de estratificación en las areniscas.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Por el tipo casi homogéneo de la roca, la acción de la erosión es uniforme por ello los rasgos geomórficos no resaltan en el relieve con excepción del drenaje que se halla ajustado al rumbo general de la estratificación.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Si **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE

TEXTURA DE DRENAJE Media **DENSIDAD DE DRENAJE**

DISEÑO DE TONO Bandeado **TEXTURA DE TONO** Media a áspera

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** Tonal

OBSERVACIONES Al igual que el modelo anterior, la anomalía tonal constituye un criterio muy importante para ubicar el contacto entre las formaciones Cancañiri y Amutara.


N

MODELO ESTEREOSCOPICO 10

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 20207 **FAJA DE VUELO** 323

MISION VUELO 118 **FECHA DE TOMA** 08/06/55 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Río Collana - Sur de Coniri **ELEVACION** 4000 Mts.

PROVINCIA Aroma **COORDENADAS** Lg. 68/17W Lt.16/55S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50.000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-3 1:100.000.- 5943 1:50.000.- III 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION** Se observa una zona muy marcada

CLASE DE ROCA Areniscas y lutitas. Conglomerados - Areniscas conglomeradicas

EDAD GEOLOGICA Silúrico - Devónico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Uncia - Catavi - Santa Rosa - Tiwanaku

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Es posible observar estratificación en las areniscas y areniscas conglomerádicas de la Formación Tiwanaku (T). Los bancos de areniscas se hallan bien estratificados. En la alternancia de areniscas y lutitas del Silúrico (U) y Devónico, es posible observar estratificación, en aquellos afloramientos donde el porcentaje de areniscas es mayor al de lutitas.

FALLAS GEOLOGICAS El modelo muestra el ajuste del río principal a la falla Coniri, que pone en contacto rocas de edad Terciaria con rocas de edad Silúrica y Devónica. La zona de falla, además muestra una anomalía tonal muy marcada, caracterizada por un fuerte alineamiento tonal y de drenaje a lo largo de la indicada zona (B).

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES


N
U
B
T

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El paisaje se halla parcialmente controlado por la estructura.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL El drenaje del área también muestra un control débil de la estructura, con excepción del río principal, que corre a lo largo de la zona de la falla Coniri.

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL Depósitos aluviales en el río principal

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Trellis o Parrilla modificado

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonal y drenaje (B)

OBSERVACIONES En la parte derecha del modelo, en el que no es posible observar estereoscopía, se hallan aflorando bancos de caliza de edad Pérmica, que corresponde a los yacimientos de Colquencha explotados para la fábrica de cemento de Viacha.

MODELO ESTEREOSCOPICO 11

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 03364 B **FAJA DE VUELO** 48

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 01/01/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Laguna Khasilla - Cerro Jonkhoto **ELEVACION** 5338 Mts.

PROVINCIA Quijarro **COORDENADAS** Lg. 66/29W Lt. 19/51S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Kilpani

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-16 1:100.000.- 6334 1:50.000.- III 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea extrusiva **ALTERACION** Si

CLASE DE ROCA Riolita

EDAD GEOLOGICA Terciario

FORMACION GEOLOGICA Nuevo Mundo

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Si

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO Se observan pequeños conos volcánicos de salpicadura, cono de cinder, domos volcánicos. Derrames de lava. Formación de una pequeña meseta.

TIPOS DE VOLCANES Conos de Cinder, Domos

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Se observan formas debidas a la acción del vulcanismo y glaciación.

GLACIACION Se observa formas de erosión y deposición glacial.

EROSION GLACIAL Pequeños circos

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales

FLUVIO GLACIAL Si

FLUVIAL .

EROSION FLUVIAL Si

ACUMULACION FLUVIAL Si

LACUSTRE

EOLICO Formas de erosión

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Rectagular - Radial

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE

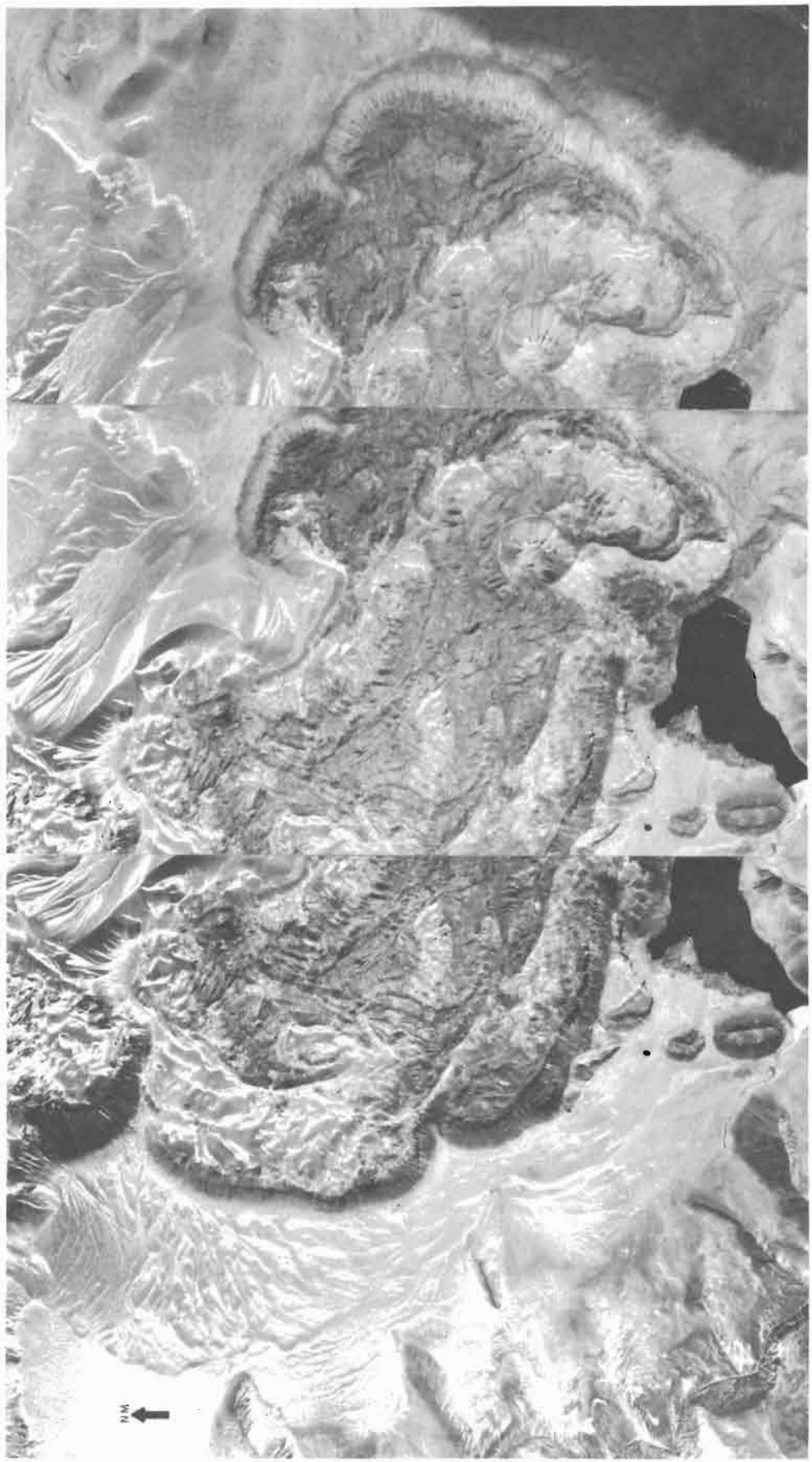
DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera - Rugosa

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Drenaje circular

OBSERVACIONES .


N

MODELO ESTEREOSCOPICO 12

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 12011 **FAJA DE VUELO** 329

MISION VUELO 71 **FECHA DE TOMA** 05/24/55 **PLAN DE VUELO** Hykon

LUGAR DE TOMA Hda. Mealluma al oeste de Guaqui **ELEVACION** 3815 Mts.

PROVINCIA Ingavi **COORDENADAS** Lg. 68/56W Lt. 16/37S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-03 1:100.000.- 5844 1:50.000.-III 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - Arenas - Gravas - Arcillas

EDAD GEOLOGICA Terciaria

FORMACION GEOLOGICA Tihuanacu

ESTRUCTURA GEOLOGICA Estructura Anticlinal comprimido.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Muy marcada con desarrollo de Dip Slopes, en sectores se observan estratos volcados.

FALLAS GEOLOGICAS Se halla afectada por varias fallas transversales.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Muy marcado (dos direcciones)

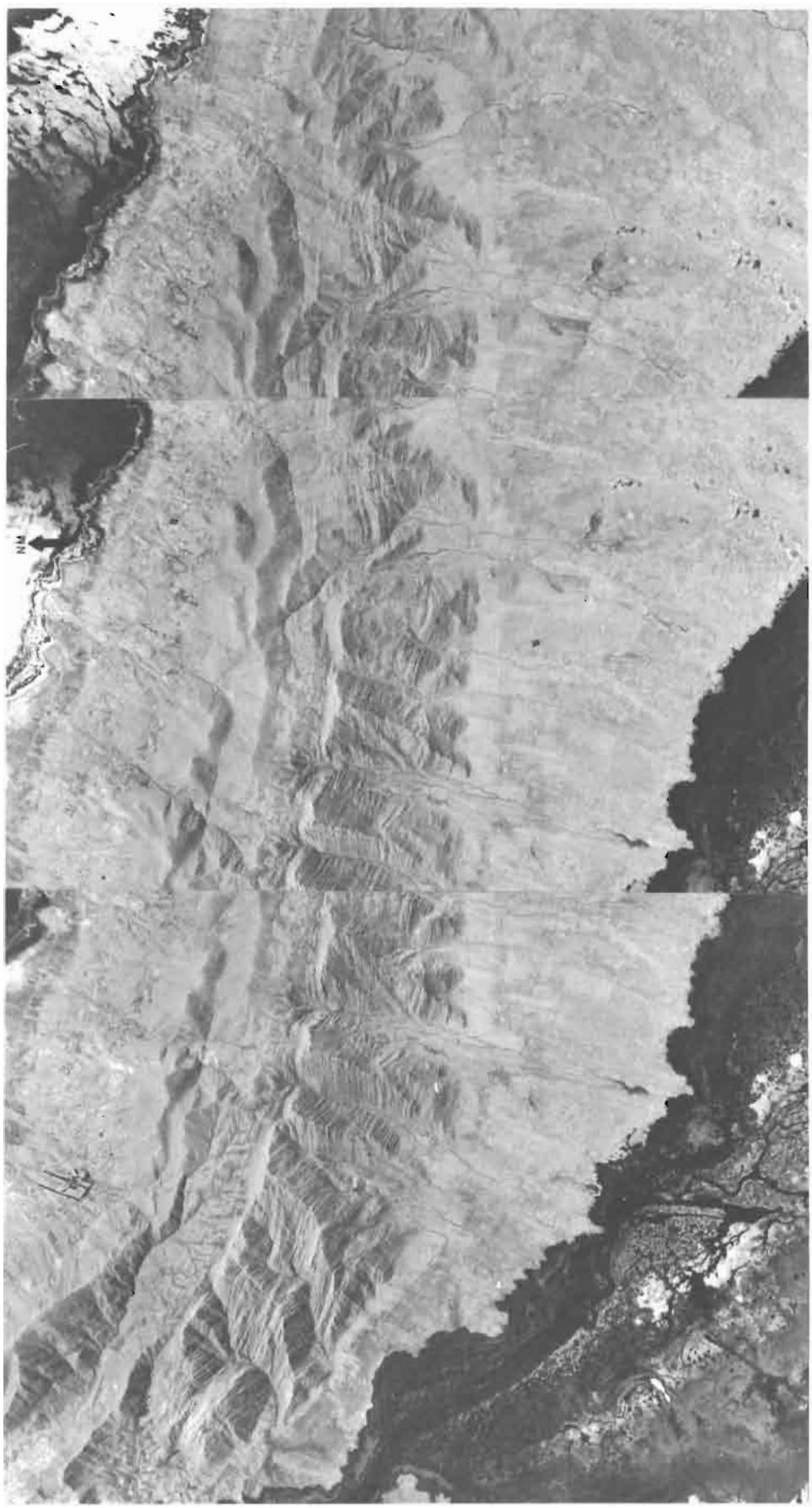
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


NM

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Desarrollo de depósitos de pie de monte (bajada) abanicos aluviales. (B)

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL La actividad ha sido muy intensa, se observan depósitos de pie de monte con desarrollo de abanicos aluviales coalescentes denominado Bajada..

EROSION FLUVIAL Si **ACUMULACION FLUVIAL** Abanicos aluviales

LACUSTRE Si **EOLICO** Si

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dicotómico en abanicos aluviales

TEXTURA DE DRENAJE Media en roca **DENSIDAD DE DRENAJE**

DISEÑO DE TONO Bandeado **TEXTURA DE TONO** Muy áspero en roca

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS**

OBSERVACIONES .

MODELO ESTEREOSCOPICO 13

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 02258 B **FAJA DE VUELO** 26

MISION VUELO 23 **FECHA DE TOMA** 08/28/61 **PLAN DE VUELO** Hércules I

LUGAR DE TOMA Jesús Valle - Norte de Potosí **ELEVACION** 4200 Mts.

PROVINCIA C. Saavedra **COORDENADAS** Lg. 65/45W Lt. 19/30S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Potosí - 6435

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-13 1:100.000.- 6435 1:50.000.- IV 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentarias **ALTERACION** Parte Sur de la foto

CLASE DE ROCA Areniscas - Alternancia de areniscas y lutitas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico y Cretácico

FORMACION GEOLOGICA La Puerta y Ordovícico no diferenciado

ESTRUCTURA GEOLOGICA Anticlinal plegado en Ordovícico y pliegues menores muy acentuados. Discordancia Ordovícico - Cretácico. Las areniscas del Cretácico se hallan fuertemente diaclasadas (K).

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las rocas Ordovícicas se hallan bien estratificadas en especial los bancos de areniscas en los que se observan algún desarrollo de Dip slopes (Pendiente estructural). La discordancia entre el Ordovícico y el Cretácico es muy marcada.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** Muy marcado en areniscas en dos direcciones

DISCORDANCIA Ordovícico - Cretácico

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Las formas de relieve son debidas a la acción combinada de la erosión fluvial, meteorización y otros procesos geomórficos.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL .

EROSION FLUVIAL Intensa **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico muy enmascarado

TEXTURA DE DRENAJE Media a gruesa **DENSIDAD DE DRENAJE** Media

DISEÑO DE TONO Amigdoidal y bandeado en sectores **TEXTURA DE TONO** Muy áspera en arenisca

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** Tonales

OBSERVACIONES Los nombres utilizados con las formaciones del Cretácico corresponden a los empleados por el Servicio Geológico de Bolivia. A la fecha dichos nombres formacionales se hallan en revisión. .


N.M

MODELO ESTEREOSCOPICO 14

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 01291 **FAJA DE VUELO** 27

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/27/61 **PLAN DE VUELO** Hércules I

LUGAR DE TOMA Comunidad Potolo-Oeste de Chaunaca **ELEVACION** 3500 Mts.

PROVINCIA Oropeza **COORDENADAS** Lg. 65/28W Lt. 18/58S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-9 1:100.000.- 6537 1:50.000.-III 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas de grano grueso, arcillas, margas, yesos.

EDAD GEOLOGICA Cretácico

FORMACION GEOLOGICA Torotoro - Aroifilla - Chaunaca

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa el cierre de una estructura anticlinal con hundimiento al Sur, desarrollado en las areniscas de la Formación Torotoro. Por la plasticidad de las arcillas, margas y yesos de las formaciones Aroifilla y Chaunaca, estas rocas se hallan muy replegadas.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION En las areniscas se observa un buen desarrollo de Dip slopes o pendientes estructurales, que permiten definir con facilidad el rumbo y buzamiento de estas rocas. El bandeamiento en las rocas arcillosas, facilita la identificación de los pliegues menores desarrollados en dichas rocas.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


N.M

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La estructura anticlinal y el tipo de roca, definen un típico ejemplo de una serranía o montaña anticlinal.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL Desarrollo de llanuras aluviales.

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Localmente radial.

TEXTURA DE DRENAJE Media a gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Bandeado en rocas arcillosas

TEXTURA DE TONO Aspera en las areniscas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 15

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 03745 **FAJA DE VUELO** 29

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/20/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Colquechaca **ELEVACION** 4300 Mts.

PROVINCIA Chayanta **COORDENADAS** Lg. 66/01W Lt. 18/42S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6337 1:50.000.- I 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea - Sedimentaria **ALTERACION** En lavas

CLASE DE ROCA Lavas (ácidas a intermedias), Areniscas y Lutitas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico, Silúrico, Cretácico, Terciario

FORMACION GEOLOGICA Cancañiri, Uncía, La Puerta

ESTRUCTURA GEOLOGICA Las estructuras sedimentarias se hallan cortadas al Norte y Sur del área por un cuerpo ígneo complejo. Por la intensa erosión glacial es muy difícil identificar y separar la posible existencia de un cuerpo ígneo intrusivo con las lavas que predominan. Por esta razón se prefiere hablar del complejo ígneo de Colquechaca.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION El diseño de tono bandeado, permite diferenciar a las rocas sedimentarias de las rocas ígneas. (Parte Norte y Sur del modelo).

FALLAS GEOLOGICAS El fallamiento coincide con zonas de lineamientos. En las rocas sedimentarias se observan fallas transversales que muestran desplazamientos grandes.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** Marcado en las lavas

DISCORDANCIA Paleozoico - Cretácico - Terciario

INTRUSIONES Si

VULCANISMO Se observan afloramientos de Lavas de composición ácida a intermedia..

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS .

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La zona se encuentra fuertemente afectada por efectos de la acción glacial, fluvial y vulcanismo.

GLACIACION Se observan remanentes de formas de erosión y deposición glacial.

EROSION GLACIAL Circos, aretes, valles

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales

FLUVIO GLACIAL Si

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Si

ACUMULACION FLUVIAL Si

LACUSTRE

EOLICO Erosión

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Radial modificado

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Drenaje y Forma

OBSERVACIONES El modelo puede ser considerado como un ejemplo asociado con anomalías geomórficas, de drenaje, de tono y lineamientos.


N.M

MODELO ESTEREOSCOPICO 16

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 1959 **FAJA DE VUELO** 5

MISION VUELO 13 **FECHA DE TOMA** 05/29/63 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Vila Vila - Cororo- Hacienda Kirusilla **ELEVACION** 3000 Mts.

PROVINCIA Yamparez **COORDENADAS** Lg. 64/52W Lt. 19/08S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-13 1:100.000.- 6636 1:50.000.- IV 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Lutitas-Areniscas-Alternancia lutitas y areniscas-Calizas- Conglomerados-

EDAD GEOLOGICA Silúrico - Devónico - Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Kirusilla (Qi) - Tarabuco (Tb)- Santa Rosa (Sr)-Icla (I) - Huamanpampa (H) Molino (M) - Terciario no diferenciado (Tn)

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa una estructura sinclinal fallada, cuyo núcleo se halla constituído por conglomerados de edad Terciaria, que sobreyacen Calizas de la Formación El Molino de edad Cretácica, en el flanco Oeste. La Falla afecta al flanco este del sinclinal, que adelgaza a las rocas de la F. El Molino (M), hasta que ellas desaparecen, aflorando los conglomerados terciarios (Tn) en contacto directo con rocas de la Formación Huamanpampa (H).

ANTICLINAL **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las areniscas de las Formaciones Santa Rosa, Tarabuco y las calizas de la Formación El Molino, debido a la acción de la erosión diferencial, en los planos de estratificación desarrollan caras triangulares que permiten una fácil identificación del rumbo y buzamiento de los estratos, de acuerdo a la regla de las Vs. En los conglomerados terciarios, los rumbos y buzamientos pueden ser observados en el corte del río principal, ubicado el flanco Oeste del sinclinal, entre el contacto Cretácico-Terciario.

FALLAS GEOLOGICAS El río principal o mayor que se observa en el modelo, muestra una alineación marcada, que sugiere un control debido a la presencia de una falla de tipo longitudinal. Es posible confirmar la presencia de la indicada falla, utilizando criterios estratigráficos y truncamiento de estratos, como ocurre entre los Conglomerados Terciarios (Tn) y el Cretácico (M). (Flanco Oeste). Otra falla importante, es la ubicada en el flanco este del sinclinal, que en el modelo se observa por los remanentes de tonos claros (S) de la F. El Molino que se hallan adelgazados y alineados con la falla. En su prolongación Sur los remanentes desaparecen, por efecto de la falla, que pone en contacto directo a los conglomerados con rocas del Devónico.

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**


Qd
Td
Ti
M
S

DISCORDANCIA Devónico - Cretácico - Terciario

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Los procesos geomórficos más importantes que han participado en el modelado del relieve, han sido los asociados con la acción fluvial y remosión en masa. En la parte izquierda del modelo (NE), en el que no es posible observar estereoscopía, se puede apreciar la presencia de una zona activa de deslizamientos y derrumbes.(Qd)

GLACIACION No se observan rasgos de glaciación.

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Desarrollo de Terrazas aluviales

ACUMULACION FLUVIAL Presencia de pequeñas llanuras aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo: Parrilla - Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Media a Fina en Conglomerados

DENSIDAD DE DRENAJE Media a Alta en conglomerados

DISEÑO DE TONO Bandeado, difícil de identificar

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonal y de drenaje

MODELO ESTEREOSCOPICO 17

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 03470 B **FAJA DE VUELO** 3

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/17/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA SE de Colquiri-Norte de Leque Palca **ELEVACION** 4250 Mts.

PROVINCIA Cercado **COORDENADAS** Lg. 66/59W Lt.17/42S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-8 1:100.000.- 6240 1:50.000.- IV 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Lutitas - Alternancia lutitas y areniscas - Areniscas

EDAD GEOLOGICA Silúrico

FORMACION GEOLOGICA Uncía - Llallagua

ESTRUCTURA GEOLOGICA Por la gran extensión de afloramiento que muestran las lutitas, y las características fotogeológicas de esta roca, es muy difícil la identificación del rumbo y buzamiento de los estratos, razón por la cual la identificación de pliegues es dificultosa.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION La estratificación sólo puede ser identificada en aquellos lugares donde afloran bancos de areniscas que alternan con lutitas, donde es posible observar pequeños Dip slopes.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Los procesos más importantes que han modelado el paisaje son los fluviales.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL El área se halla fuertemente disectada por la acción erosiva de los ríos.

EROSION FLUVIAL **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

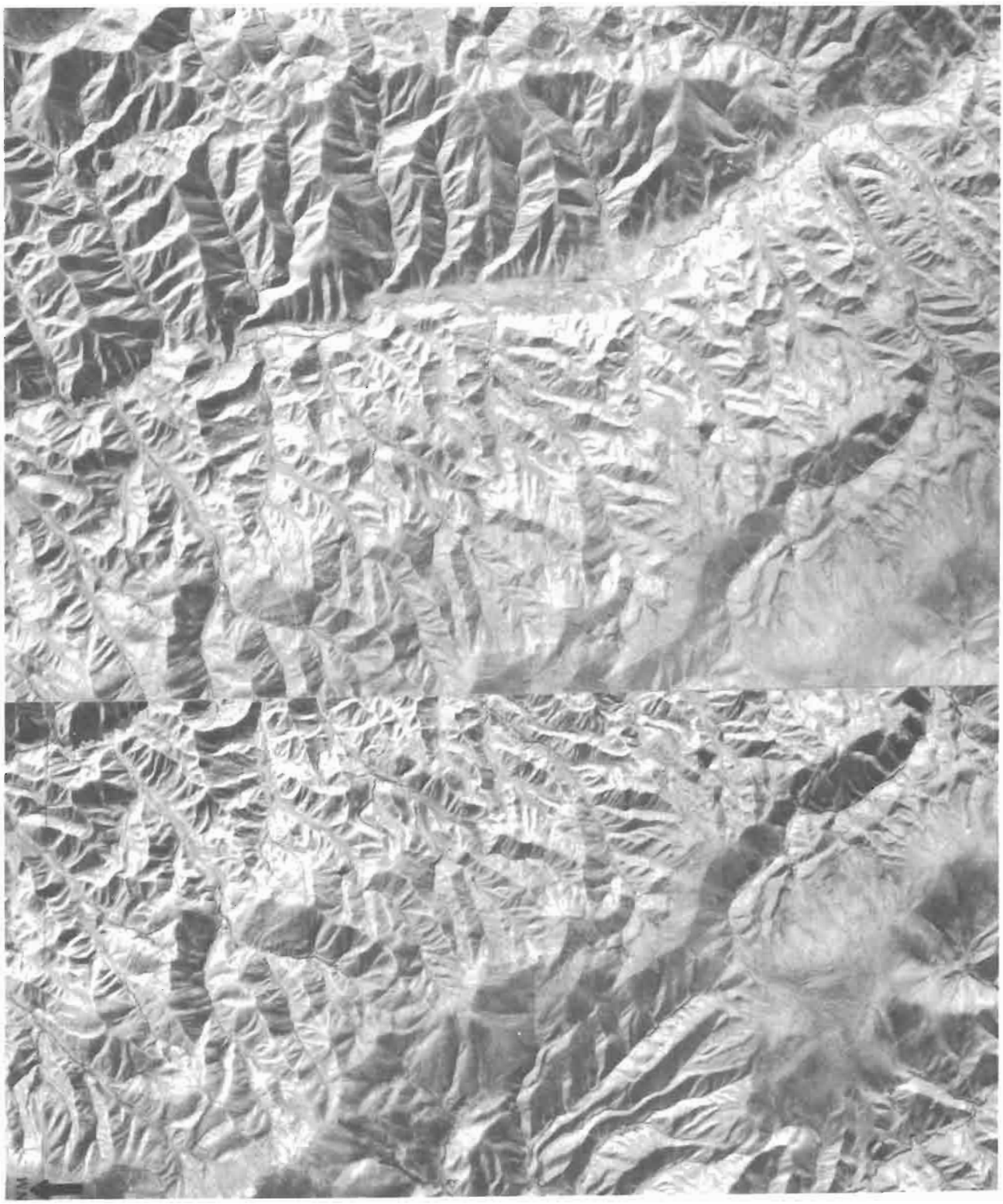
DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Fina **DENSIDAD DE DRENAJE** Alta

DISEÑO DE TONO **TEXTURA DE TONO** Suave

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS**

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 18

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 03508 B **FAJA DE VUELO** 18

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/16/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Oeste de Monserrat **ELEVACION** 3800 Mts.

PROVINCIA Dalence **COORDENADAS** Lg. 66/52W Lt. 18/26S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Llallagua

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6238 1:50.000.- IV 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Lutitas

EDAD GEOLOGICA Silúrico

FORMACION GEOLOGICA Uncía

ESTRUCTURA GEOLOGICA Núcleo de estructura sinclinal.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Por tratarse de rocas poco resistentes y uniformes a la erosión, no es posible identificar la estratificación en la fotografía aérea, sin embargo en algunos cortes de quebradas es posible observar.

FALLAS GEOLOGICAS El alineamiento de segmentos de ríos que no son muy marcados y de gran longitud podrían sugerir la presencia de pequeñas fallas.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

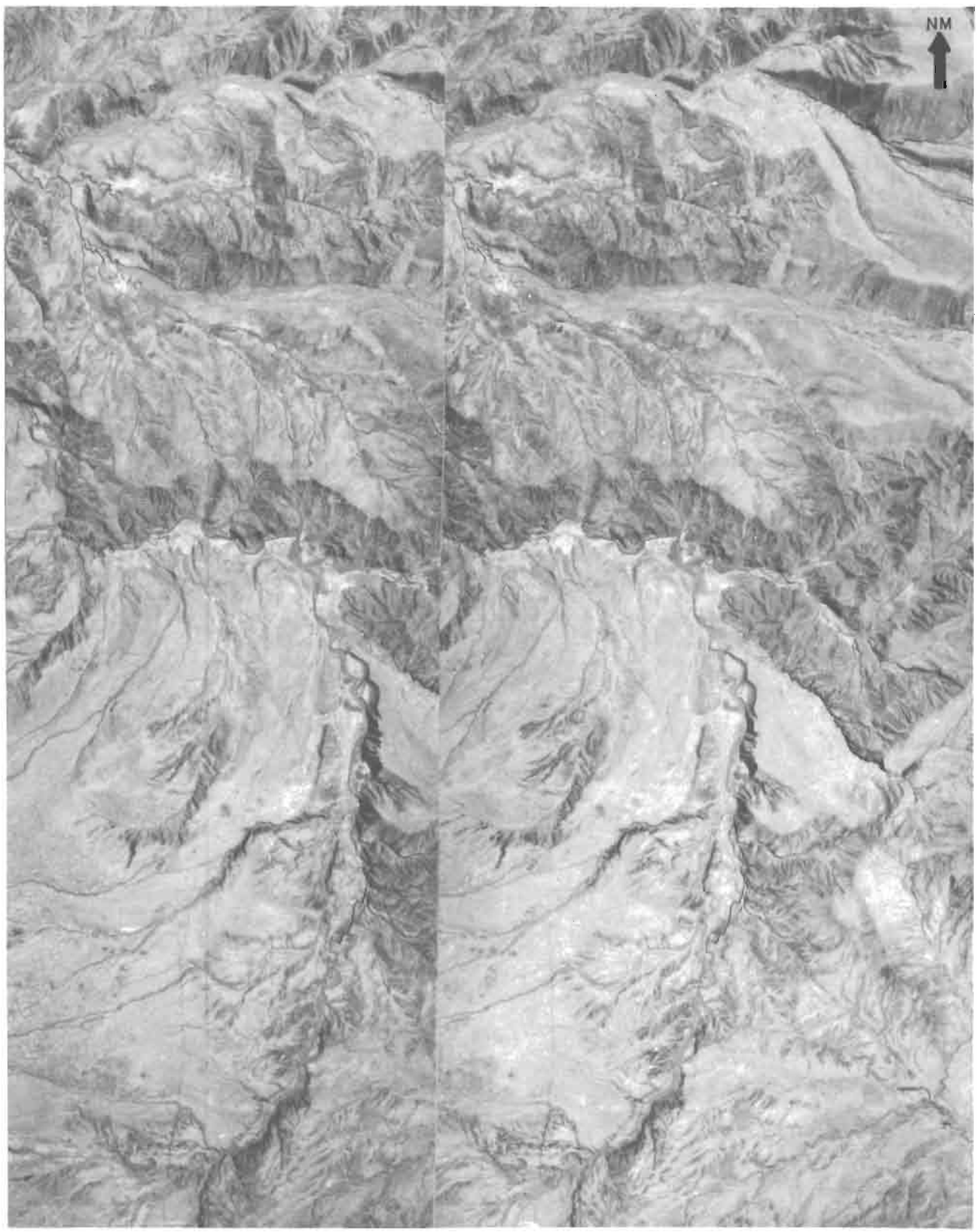
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO .

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS .


NM

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La acción fluvial, la escorrentía superficial y el lavado de manto han dado lugar a un nivelado de relieve que en algunos casos ha dado lugar a la formación de sedimentos y en otros a terrazas aluviales.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas aluviales

ACUMULACION FLUVIAL Si

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Fina

DENSIDAD DE DRENAJE Alta

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamientos

MODELO ESTEREOSCOPICO 19

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 12887 **FAJA DE VUELO** 324

MISION VUELO 76 **FECHA DE TOMA** 06/14/66 **PLAN DE VUELO** Hykon

LUGAR DE TOMA Este de Viscachani- Laguna Irutira **ELEVACION** 4000 Mts.

PROVINCIA Aroma **COORDENADAS** Lg. 67/52W Lt. 17/07S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-07 1:100.000.- 6042 1:50.000.-IV 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - alterancia areniscas lutitas-Arcillas lacustres

EDAD GEOLOGICA Carbonífero? - Devónico - Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA - Vila-Vila - Umala

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa una estructura sinclinal, cuyo cierre no puede ser observado estereoscópicamente. Los flancos de esta estructura se hallan afectados por fallas transversales.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Los estratos se hallan bien definidos, pudiendo identificar en el modelo su rumbo y buzamiento, en base al diseño de tono bandeado y al desarrollo de Dip slopes. Estratos conspícuos son bien marcados.

FALLAS GEOLOGICAS Fallas transversales son muy comunes en el modelo. Se puede apreciar el desplazamiento de los bancos de areniscas con relativa facilidad.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Por la posición que toma la estructura sinclinal en el relieve correspondería a un alto topográfico, en cuyo núcleo se ha desarrollado un valle sinclinal. Los flancos de esta estructura corresponden a dos serranías homoclinales de fuerte expresión morfológica. Otra característica morfológica es el desarrollo de terrazas lacustres en las arcillas de la formación Umala.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE Terrazas lacustres **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

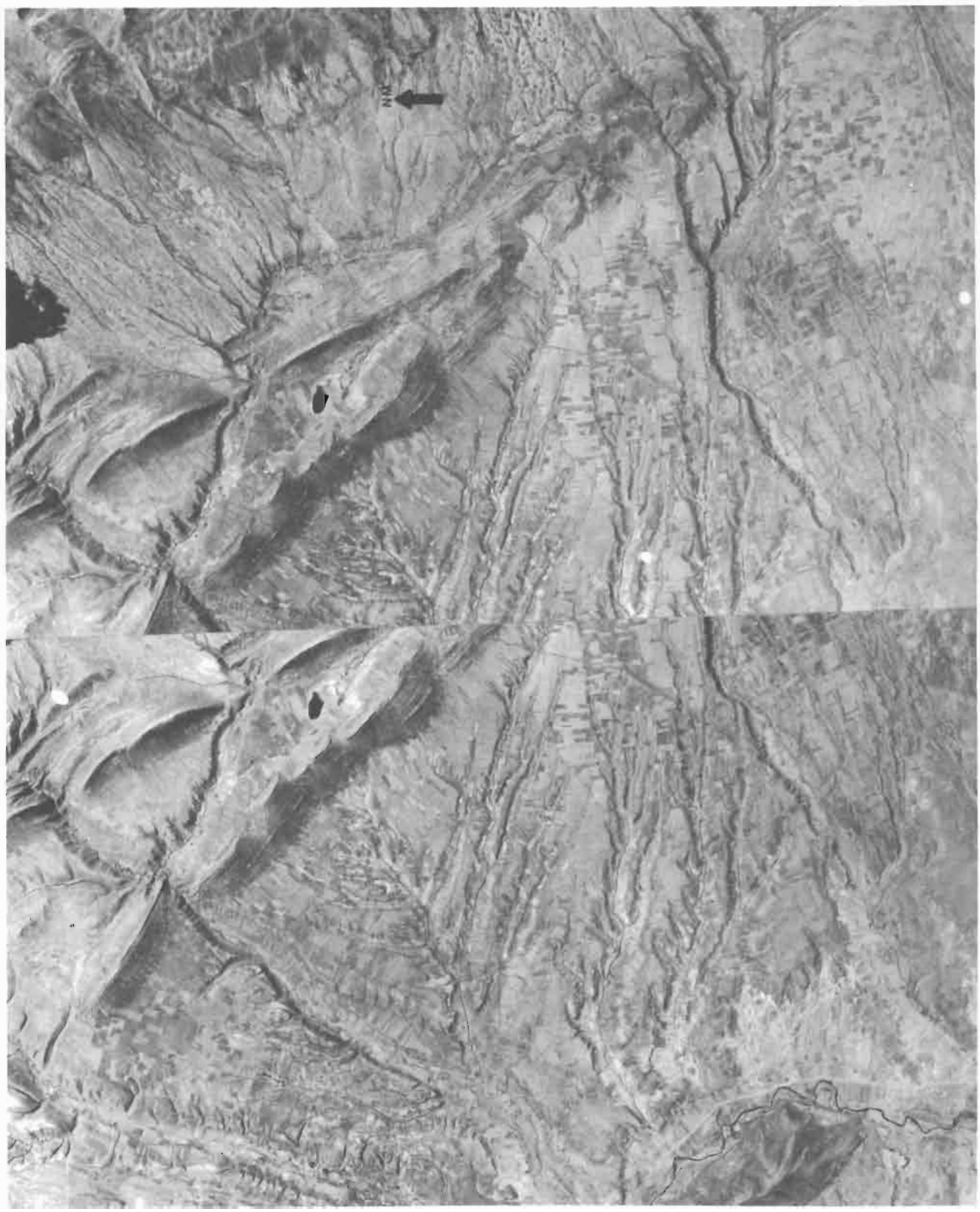
DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico pinado en arcillas

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa en roca **DENSIDAD DE DRENAJE** Baja

DISEÑO DE TONO Bandeado **TEXTURA DE TONO** Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS**

OBSERVACIONES Cuando no se ha definido con precisión la Formación geológica a la que corresponden los diferentes tipos de litología que afloran en el área observada en algunos modelos estereoscópicos, se prefiere sólo describir el tipo de roca. En otros casos, cuando el nombre de la Formación se halla en discusión, se da el nombre de la Formación con interrogante, como en este caso.



MODELO ESTEREOSCOPICO 20

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 02040 **FAJA DE VUELO** 173

MISION VUELO 13 **FECHA DE TOMA** 05/29/63 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Oron Kkota **ELEVACION** 2050 Mts.

PROVINCIA Linares **COORDENADAS** Lg. 64/49W Lt.19/36S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-13 1:100.000.- 6635 1:50.000.-III 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - Calizas - Arcillas - Conglomerados

EDAD GEOLOGICA Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA El Molino - Santa Lucía - Cayara

ESTRUCTURA GEOLOGICA Estructura sinclinal.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Bien marcada - Amplio desarrollo de Dip slopes y Flatirons.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Si

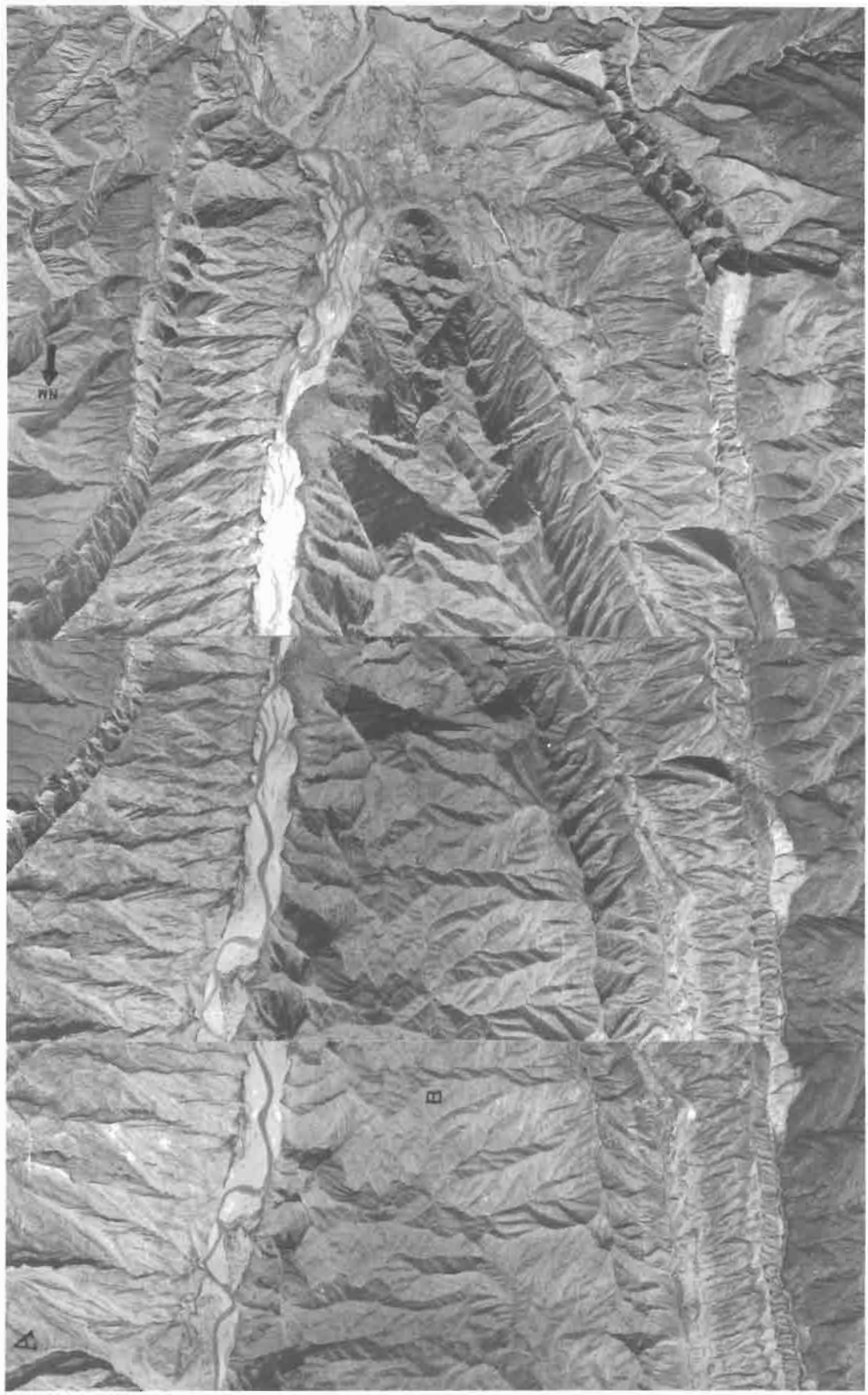
DISCORDANCIA Cretácico - Terciario

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


NN
B
A

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Las formas se hallan controladas por la estructura y la litología. (Serranía Sinclinal - Serranía y valles homoclinales)

GLACIACION No se observan rasgos de glaciación

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL La acción fluvial ha sido intensa. El desarrollo de drenaje está controlado por la estructura geológica desarrollando valles y serranías homoclinales.

EROSION FLUVIAL Muy intensa

ACUMULACION FLUVIAL Llanura aluvial de curso múltiple

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla, dendrítico local, trenzado

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO Bandeado y Amigdoidal

TEXTURA DE TONO Aspera (B) Suave media(A)

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES Los nombre utilizados con las formaciones del Cretácico corresponde a los empleados por el Servicio Geológico de Bolivia. A la fecha dichos nombres formacionales se hallan en revisión. Por esta razón en las descripciones del resto de los modelos se emplearán los nombres utilizados en los mapas geológicos publicados por el Servicio Geológico de Bolivia.

MODELO ESTEREOSCOPICO 21

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 00091 B **FAJA DE VUELO** 28

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 07/31/61 **PLAN DE VUELO** Hércules I

LUGAR DE TOMA Maragua **ELEVACION** 3030 Mts.

PROVINCIA Oropeza **COORDENADAS** Lg. 65/26W Lt. 19/03S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Sucre - 6536

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-13 1:100.000.- 6536 1:50.000.-IV 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Calizas (A) - Arcillas - Lutitas - Yesos y sal

EDAD GEOLOGICA Cretácico

FORMACION GEOLOGICA Chaunaca - EL Molino (A) - Santa Lucía (W)

ESTRUCTURA GEOLOGICA Modelo típico de una estructura sinclinal en el que el ancho y longitud del pliegue son aproximadamente similares. Por estas características se denomina Cubeta Sinclinal.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION El modelo muestra uno de los mejores ejemplos de desarrollo de Dip slopes o pendientes estructurales, en el que los planos de estratificación, desarrollan caras perfectamente triangulares, en las que el rumbo y buzamiento es identificado con relativa facilidad, al aplicar la regla de las Vs.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA

GLACIACION No se observan rasgos de glaciación

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL .

EROSION FLUVIAL Si

ACUMULACION FLUVIAL Si

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla modificado - Centripetal

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media a baja

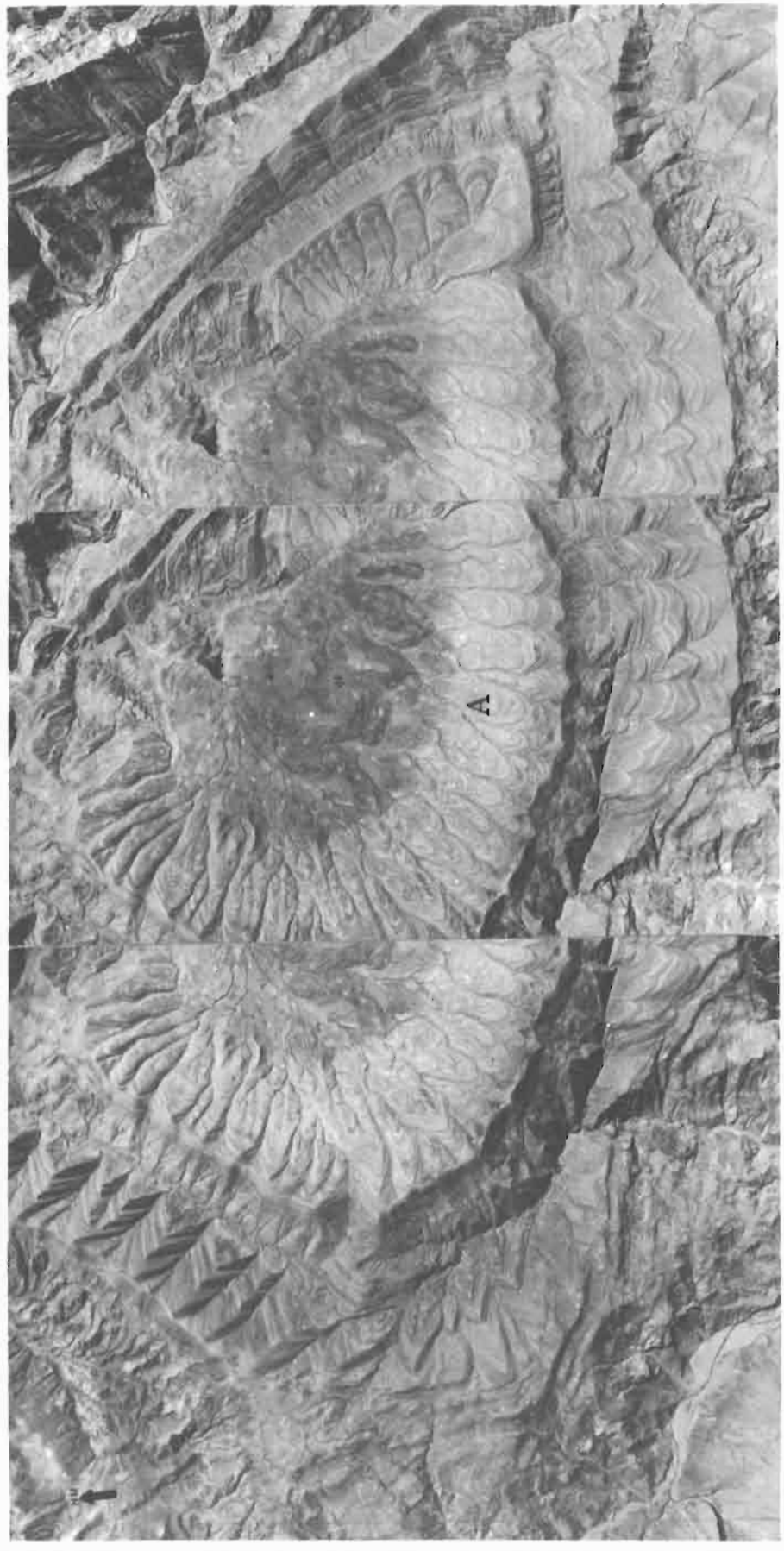
DISEÑO DE TONO Amigdoidal - Bandeado

TEXTURA DE TONO Suave a media

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES .


A

MODELO ESTEREOSCOPICO 22

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 12415 **FAJA DE VUELO** 326

MISION VUELO 72 **FECHA DE TOMA** 05/28/58 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Comunidad Parina Arriba, Sullcatiti **ELEVACION** 3850 Mts.

PROVINCIA Ingavi **COORDENADAS** Lg. 68/46W Lt. 16/46W

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Jesús de Machaca - 5843

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-03 1:100.000.- 5843 1:50.000.-IV 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Arcillas lacustres y depósitos aluviales recientes, areniscas

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Ulloma - Tiwanacu

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Se observan pequeños remanentes de areniscas, con estratificación marcada.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS



CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El paisaje se halla asociado con formas debidas a la acción combinada de deposición y erosión fluvial y lacustre con desarrollo de terrazas fluviales y lacustres, acumulacion de depósitos aluviales. Sobre la superficie de las terrazas lacustres constituídas por arcillas se ha desarrollado un paisaje muy típico asociado con un relieve que muestra depresiones superficiales que constituyen pequeñas lagunillas, muy parecidas a las asociadas con el paisaje karstico. Puede ser considerado como un paisaje Pseudo karstico, cuya apariencia tonal en la fotografía semeja a la del tono moteado.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL La acción fluvial ha sido importante en el modelado del relieve. se observan muchas terrazas producto de la erosión fluvial..

EROSION FLUVIAL Terrazas - Profundización de ríos

ACUMULACION FLUVIAL Depósitos asociados al río principal

LACUSTRE Terrazas

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Meándrico

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Moteado

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS De drenaje

MODELO ESTEREOSCOPICO 23

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 5074-74 **FAJA DE VUELO** 350

MISION VUELO 58/13 **FECHA DE TOMA** 06/25/63 **PLAN DE VUELO**

LUGAR DE TOMA Serranía Pilon - Cerro Boya **ELEVACION** 650 Mts.

PROVINCIA José Ballivián **COORDENADAS** Lg. 66/47W Lt 15/30S

DEPARTAMENTO Beni **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SD-19-16 1:100.000.- 6247 1:50.000.- IV 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternancias areniscas- lutitas - Areniscas - Lutitas

EDAD GEOLOGICA Mesozoico Inferior - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Beu - Quendeque

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa una gran estructura anticlinal, con núcleo en areniscas de la Formación Beu. Los flancos corresponden a una alternancia de areniscas, lutitas de la Formación Quendeque..

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION A pesar de la densa cubierta de bosques, la estratificación es fácil de observar, por el buen desarrollo de Dip slopes, cuyas caras triangulares se hallan delineadas por la vegetación.

FALLAS GEOLOGICAS .

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Si

DISCORDANCIA Mesozoico - Terciario

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Los ríos transversales al rumbo de la estructura, se hallan en un proceso activo de erosión retrocedente, acompañado de la profundización de su cauce, con tendencia al desarrollo de sobreimposición del drenaje. Modificación del drenaje por captura de ríos El eje anticlinal de la estructura coincide aproximadamente con la divisoria de aguas, correspondiendo además a una serranía anticlinal. Todas estas características indican que el ajuste estructural es casi completo.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL La acción fluvial es muy importante en los procesos de erosión retrocedente, captura de ríos y sobreimposición del drenaje..

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla

TEXTURA DE DRENAJE Media

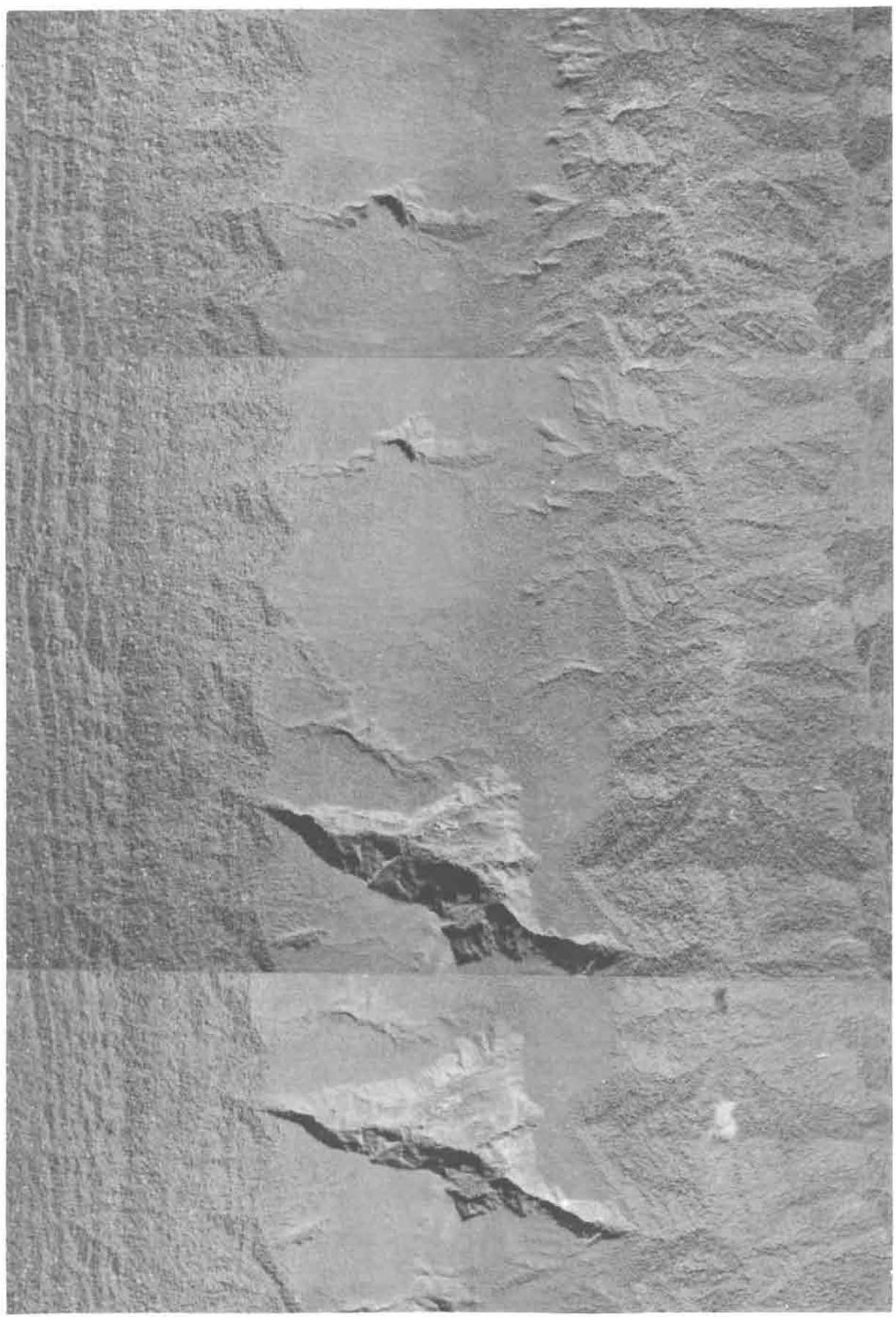
DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION Si

ANOMALIAS De drenaje



MODELO ESTEREOSCOPICO 24

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 00879 **FAJA DE VUELO** 12

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/25/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Torotoro **ELEVACION** 2600 Mts.

PROVINCIA Charcas **COORDENADAS** Lg.65/47W Lt. 18/06S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-09 1:100.000.- 6439 1:50.000.-IV 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Calizas

EDAD GEOLOGICA Cretácico

FORMACION GEOLOGICA El Molino

ESTRUCTURA GEOLOGICA La identificación de pliegues en el modelo, no es sencilla debido a la estratificación horizontal, sin embargo es posible observar algunos pliegues menores..

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las rocas se hallan bien estratificadas, se observa estratificación horizontal y en sectores la roca tiene buzamientos mayores a 10 grados..

FALLAS GEOLOGICAS .

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** En dos direcciones

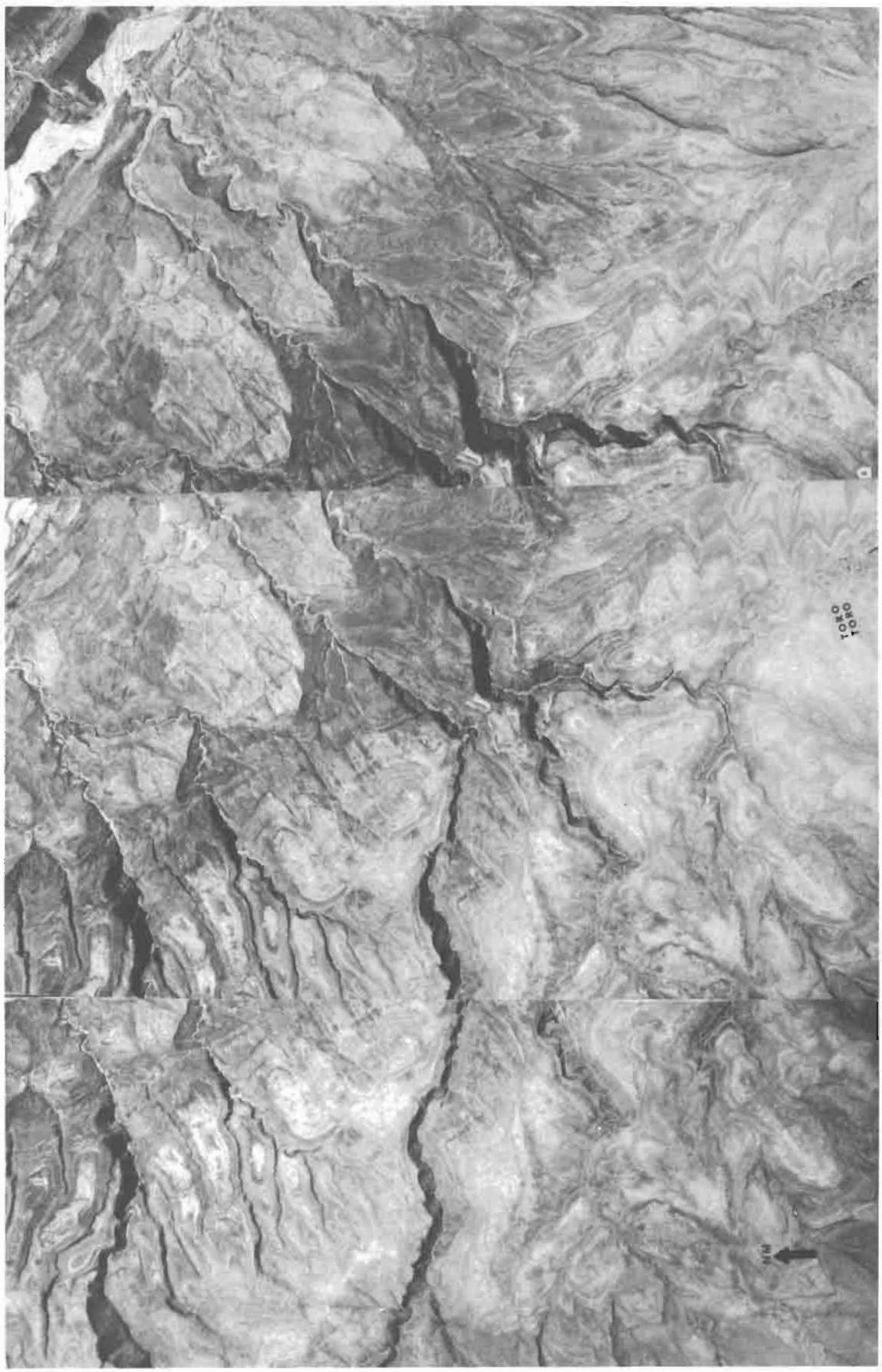
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


TORO
TORO

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Se observa un paisaje de mesa, valles profundos con desarrollo de cañones.

GLACIACION No se observa

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL La acción erosiva de los ríos es muy intensa, desarrollando valles y cañones muy profundos..

EROSION FLUVIAL Intensa **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa **DENSIDAD DE DRENAJE**

DISEÑO DE TONO Amigdoidal - Bandeado **TEXTURA DE TONO** Suave a intermedia

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS**

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 25

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 28259 **FAJA DE VUELO** 339

MISION VUELO 165 **FECHA DE TOMA** 05/20/61 **PLAN DE VUELO** Hykon

LUGAR DE TOMA Yampupata - Sampaya **ELEVACION** 4000 Mts.

PROVINCIA Manco Kapac **COORDENADAS** Lg.69/07W Lt. 16/03S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox.1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-02 1:100.000.- 5745 1:50.000.-IV 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Calizas (E) - Areniscas gruesas (S) y lutitas

EDAD GEOLOGICA Pérmico - Carbonifero - Devónico

FORMACION GEOLOGICA Copacabana - Kollasuyo

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se trata de una estructura homoclinal.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las rocas se hallan bien estratificadas. Por la erosión diferencial,se desarrollan Dip slopes o Pendientes estructurales bien definidas, cuyas caras triangulares permiten identificar claramente el rumbo y buzamiento de los estratos (S). En el sector Norte del modelo, se observa estratificación horizontal (E).

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Si

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La estructura homoclinal y la litología, controlan el modelado del paisaje desarrollando una serranía homoclinal.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

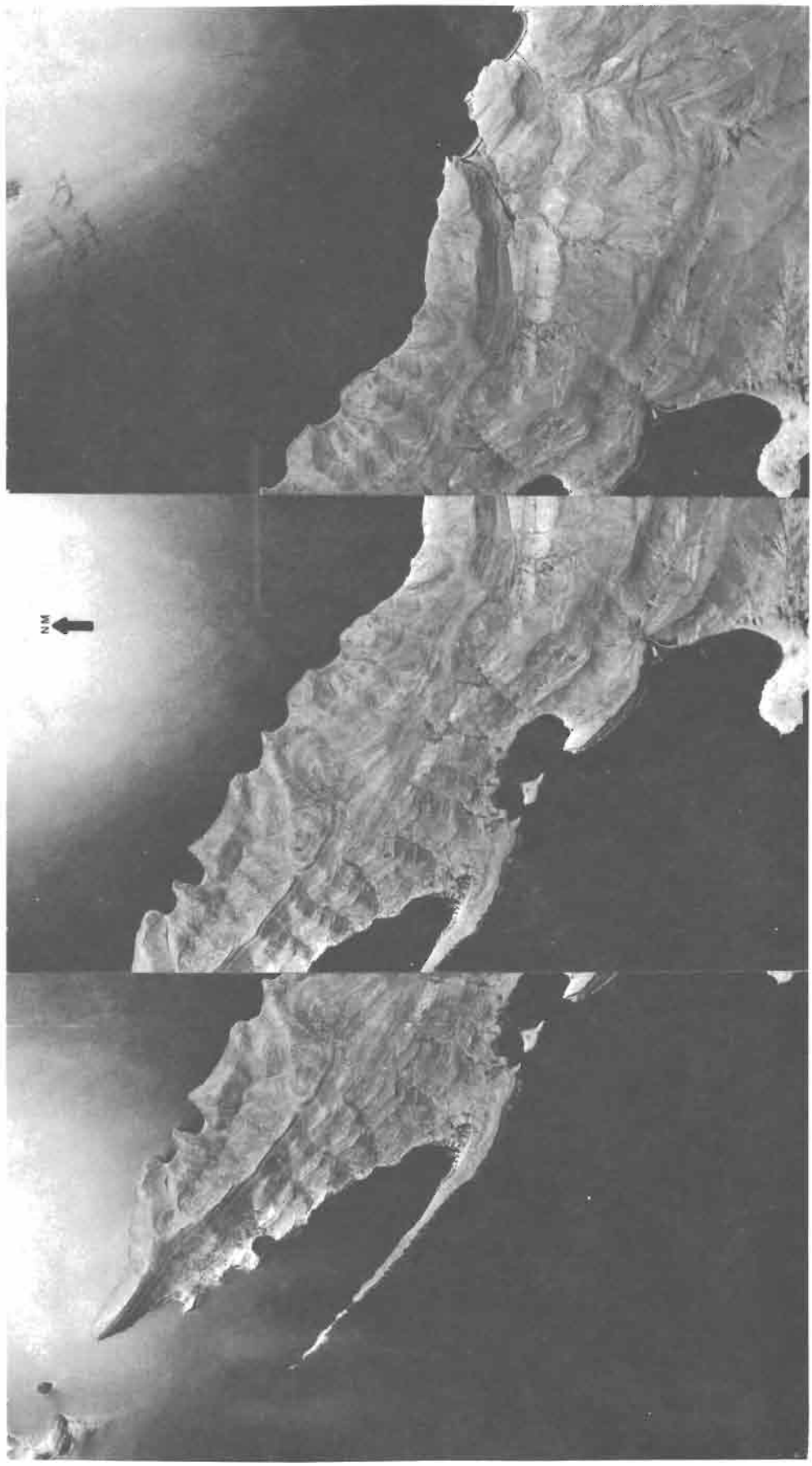
DISEÑO DE DRENAJE Parrilla o Trellis

TEXTURA DE DRENAJE Media **DENSIDAD DE DRENAJE** Media

DISEÑO DE TONO Amigdoidal (E) - Bandeado (S) **TEXTURA DE TONO** Aspera - Suave

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS**

OBSERVACIONES Por trabajo de campo, se observa que entre los bancos de areniscas se intercalan algunos horizontes de diamictitas (Carbonífero).


N.M.

MODELO ESTEREOSCOPICO 26

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 00437 B **FAJA DE VUELO** 8

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/22/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Estancia Comojon Kasa **ELEVACION** 3180 Mts.

PROVINCIA Mizque **COORDENADAS** Lg. 65/42 Lt. 17/42/30

DEPARTAMENTO Cochabamba **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40.000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-05 1:100.000.- 6440 1:50.000.- I 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternancia areniscas y lutitas - Conglomerados

EDAD GEOLOGICA Ordovícico

FORMACION GEOLOGICA Trigoloma - Santiago

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa un fuerte lineamiento (E), definido por la alineación de segmentos de ríos, que puede sugerir la existencia de una zona de fallamiento.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Se observa estratos horizontales.

FALLAS GEOLOGICAS Por los marcados lineamientos paralelos, se puede sugerir que el área se halla afectada por un sistemas de fallas paralelas y longitudinales..

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

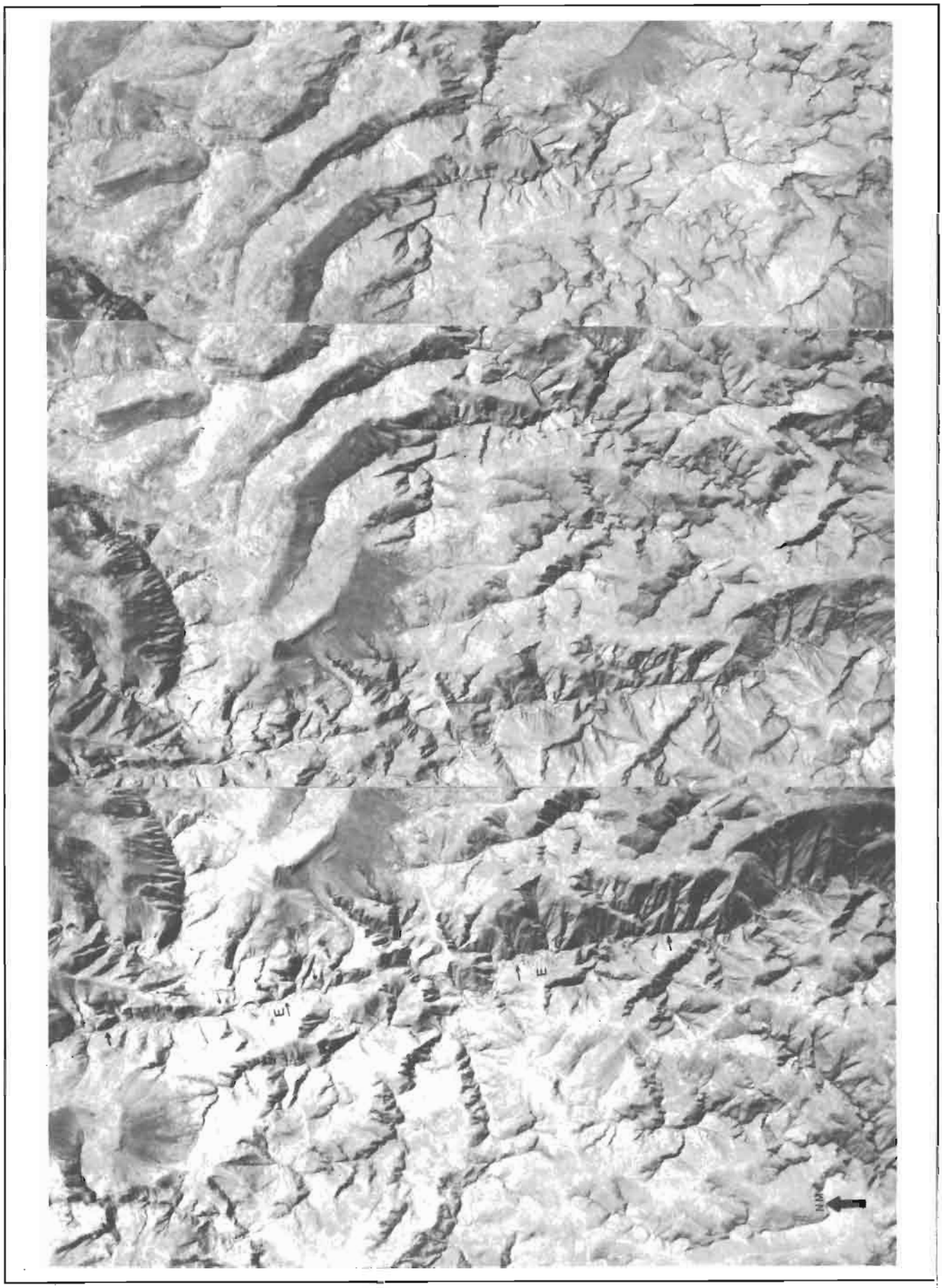
DISCORDANCIA Si

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS



CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA En el área de afloramiento de estratos horizontales, se desarrolla un paisaje de Mesas y cañones.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Si **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Media a gruesa **DENSIDAD DE DRENAJE**

DISEÑO DE TONO Amigdoidal **TEXTURA DE TONO** Media a áspera

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** Lineamientos

OBSERVACIONES En este modelo se observan hasta tres alineamientos. Uno de ellos es muy marcado y coincide con alineaciones de segmentos de ríos.

MODELO ESTEREOSCOPICO 27

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 00276 **FAJA DE VUELO** 23

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/10/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Pocoata **ELEVACION** 3320 Mts.

PROVINCIA Chayanta **COORDENADAS** Lg. 66/10W Lt. 18/42S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6337 1:50.000.- I 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternancia de areniscas y lutitas (A) - Brechas y conglomerados (B)

EDAD GEOLOGICA Ordovícico, Cretácico

FORMACION GEOLOGICA Amutara, Condo

ESTRUCTURA GEOLOGICA En el sector Norte y Sur de la fotografía aérea, se observan fallas de alto ángulo longitudinales, (Desplazamiento horizontal ?), transversales que afectan a rocas del Ordovícico y Cretácico. Al Norte de Pocoata se observa una discordancia entre el Ordovícico y el Cretácico, (A y B). En la misma zona se observa una falla entre ambos Sistemas (M) Las rocas del Ordovícico se hallan suavemente plegadas, observándose en la parte SE del modelo un anticlinal, con el flanco Oeste fallado. (Falla de desplazamiento horizontal?).

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION La estratificación horizontal es marcada en rocas de Edad Cretácica, mientras que la alternancia de areniscas y lutitas muestra buzamientos medios a horizontales.

FALLAS GEOLOGICAS La identificación de las fallas descritas anteriormente, no es muy sencilla. Los criterios utilizados para la identificación de la falla longitudinal que afecta al flanco Oeste del anticlinal (C), ubicado en la parte S del modelo, se hallan relacionados con la convergencia, interrupción de estructuras, alineamiento del río y criterios estratigráficos. Se observa alineamientos que pueden coincidir con zonas de falla. (E, T,)

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO** Si

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** Si

DISCORDANCIA Ordovícico - Cretácico

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Los procesos fluviales son los principales responsables en el modelado del relieve, en el que también participaron efectos de remoción en masa.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales y abanicos aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Amigdoidal - Bandeado

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonales


C
E
B
A
B
M
A
NM

MODELO ESTEREOSCOPICO 28

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 02637 B **FAJA DE VUELO** 37

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/26/61 **PLAN DE VUELO** Hércules I

LUGAR DE TOMA Circoya, Tajita Colla, Sur de Sevaruyo **ELEVACION** 4050 Mts.

PROVINCIA Ladislao Cabrera **COORDENADAS** Lg. 67/11W Lt. 19/22S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA Tambillo - 6135

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-16 1:100.000.- 6135 1:50.000.- I 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentarias **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Calizas - Areniscas- Lutitas - Yesos - Depósitos fluvio-lacustres y lacustres.

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cretácico - Permotriásico?

FORMACION GEOLOGICA Potoco - Tusque - Candelaria - Mulasi- Campana

ESTRUCTURA GEOLOGICA La zona se halla plegada, se observa un pliegue sinclinal y un anticlinal en los cuales se puede apreciar el cierre de ambas estructuras..

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Los estratos se hallan bien estratificados. Los buzamientos en los flancos de los pliegues son altos (40^{o} a 70^{o}), le dan un característico diseño de tono bandeado. Los buzamientos en el cierre de la estructura sinclinal son bajos a medios (10^{o} a 20^{o}).

FALLAS GEOLOGICAS .

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


N

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El paisaje se halla controlado por la estructura. Desarrollo de serranías homoclinales, serranía anticlinal y valle sinclinal.

GLACIACION No se observan rasgos de glaciación.

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Paisaje ajustado al control estructural

EROSION FLUVIAL Marcada

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE Si

EOLICO Si

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa a media

DENSIDAD DE DRENAJE Media a baja

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 29

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 01289 **FAJA DE VUELO** 27

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/27/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Comunidad Molle Molle - Río Tomuyo **ELEVACION** 3200 Mts.

PROVINCIA Oropeza **COORDENADAS** Lg.65/32W Lt.18/58S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox.1: 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-9 1:100.000.- 5437 1:50.000.- II 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas de grano grueso fuertemente meteorizada, calizas, arcillas y margas

EDAD GEOLOGICA Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Torotoro - El Molino - Santa Lucía

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa un ejemplo muy interesante relacionado con la plasticidad de las calizas, arcillas y margas que se hallan muy replegadas, desarrollando dos pliegues sinclinales y un anticlinal. Se puede apreciar como el buzamiento normal de los estratos en el cierre del sinclinal, empieza a invertirse en el flanco Oeste..

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las rocas se hallan bien estratificadas, el efecto de erosión diferencial en las rocas aflorantes, permite el desarrollo de Dip slopes, en cuyas caras triangulares es posible identificar rumbos y buzamientos. Un ejemplo muy claro para observar estratos volcados en el flanco Oeste del sinclinal (W)

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** En dos direcciones

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La acción erosiva de los ríos ha sido muy importante e intensa. Es posible observar remanentes de terrazas, producto de la intensa profundización del río. De igual manera la acumulación fluvial es de importancia, se observa el desarrollo de una llanura aluvial, caracterizada por un diseño trenzado (E).

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas aluviales

ACUMULACION FLUVIAL Llanura aluvial

LACUSTRE

EOLICO Si

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parte de un diseño Parrilla regional.

TEXTURA DE DRENAJE Media

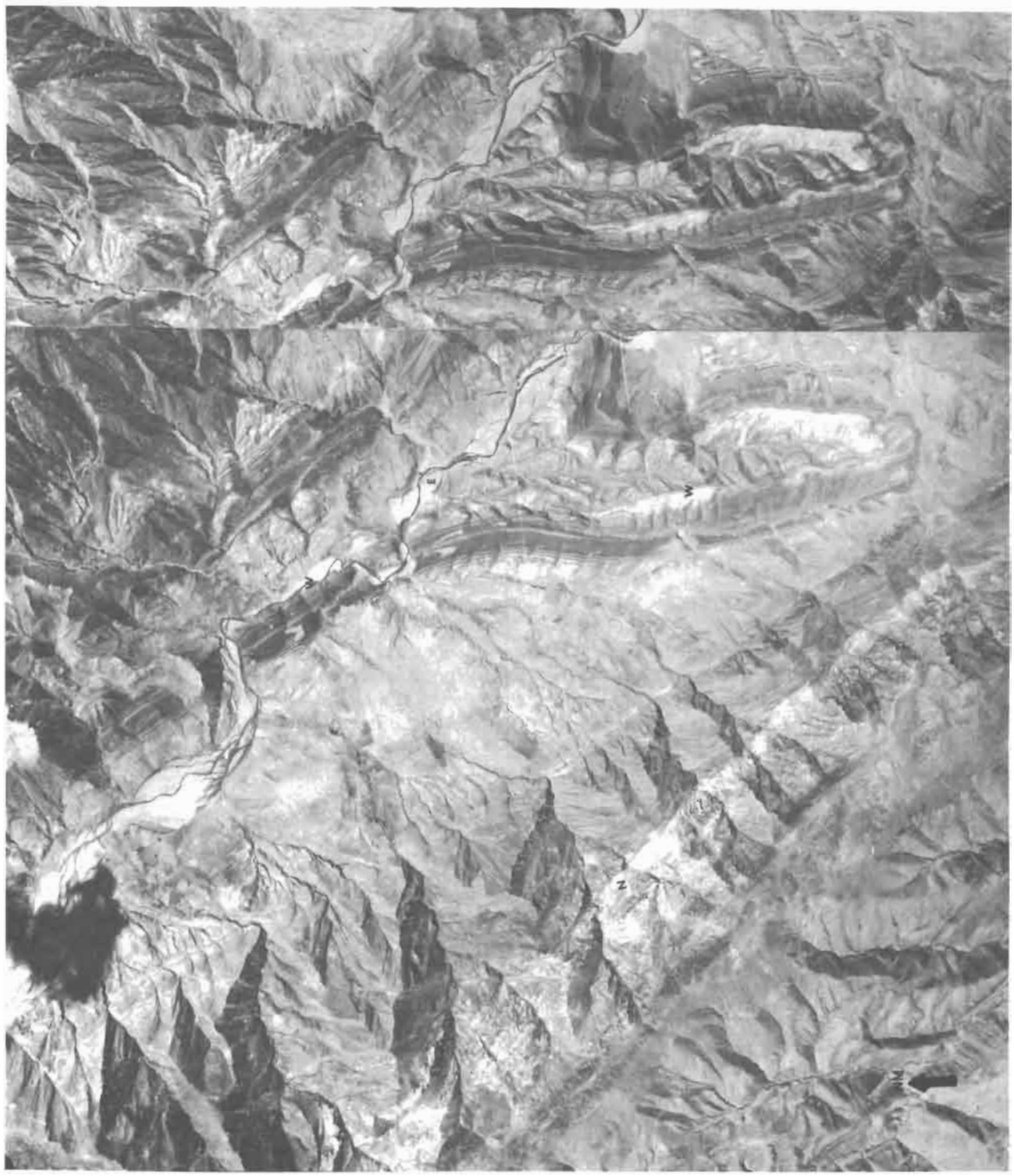
DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspero en areniscas (N).

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonal



MODELO ESTEREOSCOPICO 30

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 02662 B **FAJA DE VUELO** 38

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/01/61 **PLAN DE VUELO** Hércules I

LUGAR DE TOMA Cerro Campana-Pacariza- S. de Sevaruyo **ELEVACION** 4150 Mts.

PROVINCIA Avaroa **COORDENADAS** Lg 67/08W Lt 19/26S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox.1: 1:40000

HOJA GEOLOGICA Tambillo - 6135

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-16 1:100.000.- 6135 1:50.000.- I 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Calizas - areniscas - arcillas - arcillas yesíferas

EDAD GEOLOGICA Cretácico - Permo Triásico

FORMACION GEOLOGICA Campana- Mulasi- Coroma- Pahua

ESTRUCTURA GEOLOGICA El modelo muestra un ejemplo de una estructura diapírica (W). Se puede apreciar la forma en que el núcleo de la estructura anticlinal se halla cortado por la indicada estructura. El flanco Este del anticlinal se halla afectado por una falla longitudinal inversa de alto ángulo (U). En la prolongación sur del eje del anticlinal y la estructura diapírica se observan dos pequeños cuerpos ígneos de forma dómica (Q).

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS** Si

ESTRATIFICACION La estratificación es fina, pudiendo identificarse el rumbo que tienen los estratos. .

FALLAS GEOLOGICAS Al tratarse de una estructura diapírica, se supone la existencia de fallas inversas de alto ángulo, que favorecieron este proceso de diapirismo. En la foto es posible identificar sólo una falla longitudinal inversa de alto ángulo, ubicada en el flanco Este del anticlinal, caracterizado por una alineación de segmentos de ríos y una alineación tonal en el contacto con los yesos (W) de esta estructura..

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

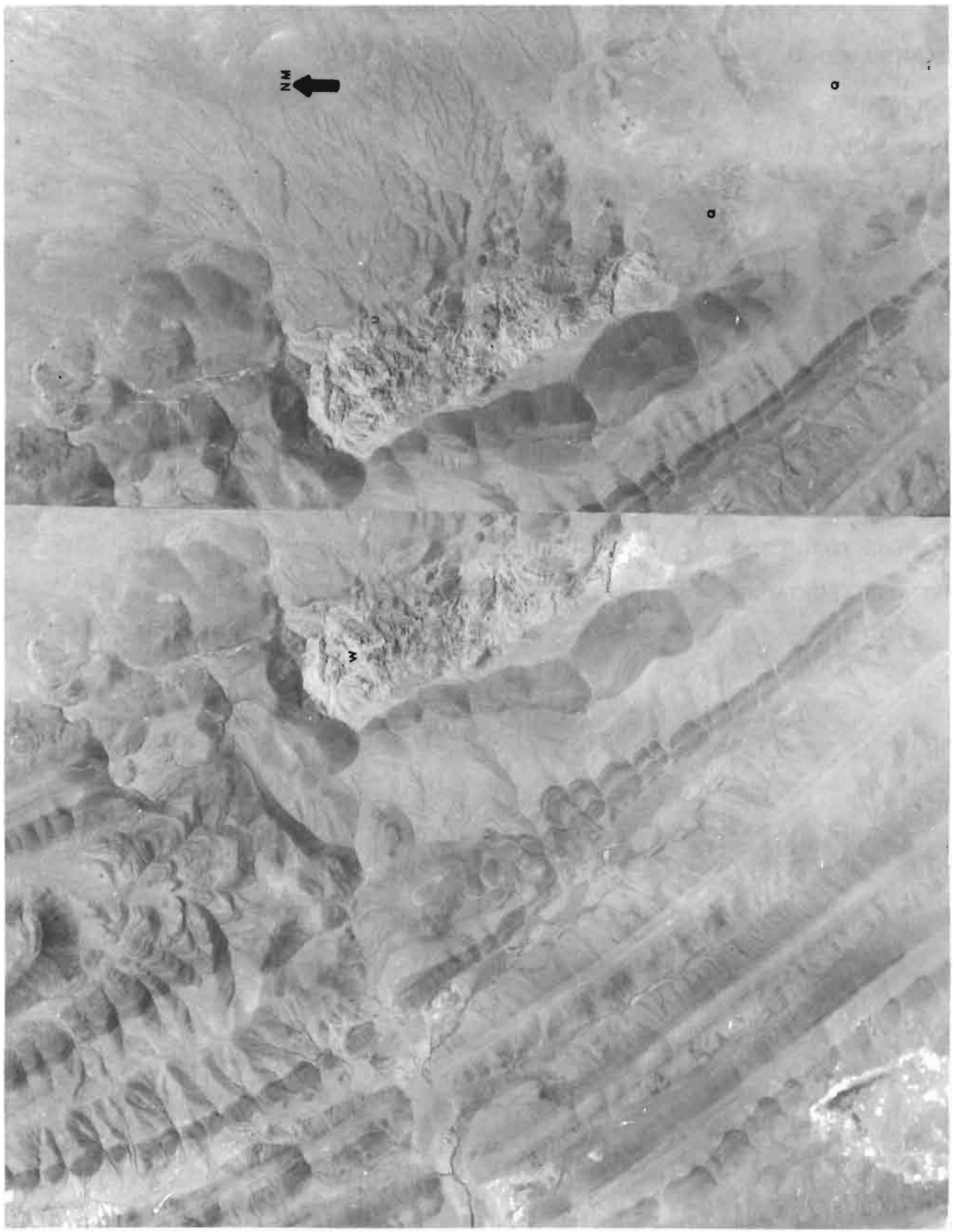
LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES Cuerpos menores bulbosos

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES


NM

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla con dendrítico local.

TEXTURA DE DRENAJE Muy fina en arcillas yesíferas (W). **DENSIDAD DE DRENAJE** Muy alta en arcillas yesíferas.

DISEÑO DE TONO Bandeado **TEXTURA DE TONO** Suave en arcillas.

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** Tonal

MODELO ESTEREOSCOPICO 31

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 20542 **FAJA DE VUELO** 332

MISION VUELO 120 **FECHA DE TOMA** 10/08/55 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Calcoma-Laguna Luki-Río Pallina-W Laja **ELEVACION** 3350 Mts.

PROVINCIA Los Andes **COORDENADAS** Lg.68/24W Lt. 16/33S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA La Paz 5944

HOJA TOPOGRAFICA

ESCALA 1:250.000.- SE-19-03 1:100.000.- 5944 1:50.000.-III 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas (S) - Conglomerados poco consolidados (N) Arcillas lacustres (U)

EDAD GEOLOGICA Devónico - Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Devónico no diferenciado - Ulloma

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa una estructura anticlinal muy comprimida cuyo flanco Este es muy grueso en espesor comparado con el flanco Oeste.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Por las características de las areniscas, la identificación de la estratificación y en especial la de estratos conspícuos es sencilla. Por efecto de la erosión diferencial existe un marcado desarrollo de Dip slopes o Pendientes estructurales, cuyas caras triangulares permiten definir con precisión el rumbo y buzamiento de los estratos (S).

FALLAS GEOLOGICAS La identificación directa de fallas no es posible realizar. Se puede inferir la presencia de una falla longitudinal, que coincide con el eje del anticlinal, si se realiza un análisis cuidadoso de los rumbos y buzamientos en el lugar del cierre de la estructura. Otro tipo de fallas que se observa, corresponde a fallas transversales, de reducido desplazamiento y longitud.

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Debil

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Acción fluvial y lacustre importante. Se observa terrazas lacustres (H) y aluviales desarrolladas sobre las arcillas de la Formación Umala. Sobre la superficie de estas terrazas, se observa la presencia de pequeñas lagunillas, muy similares a las que se desarrollan en un paisaje Karstico (Dolinas). Por la indicada similitud y para evitar confusiones se prefiere designar a este tipo de paisaje como Pseudokarstico.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Acción fluvial importante, en la profundización y desarrollo de terrazas (U) y formación de llanuras aluviales..

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales

LACUSTRE Terrazas

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Meándrico y trenzado en río principal.

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Media

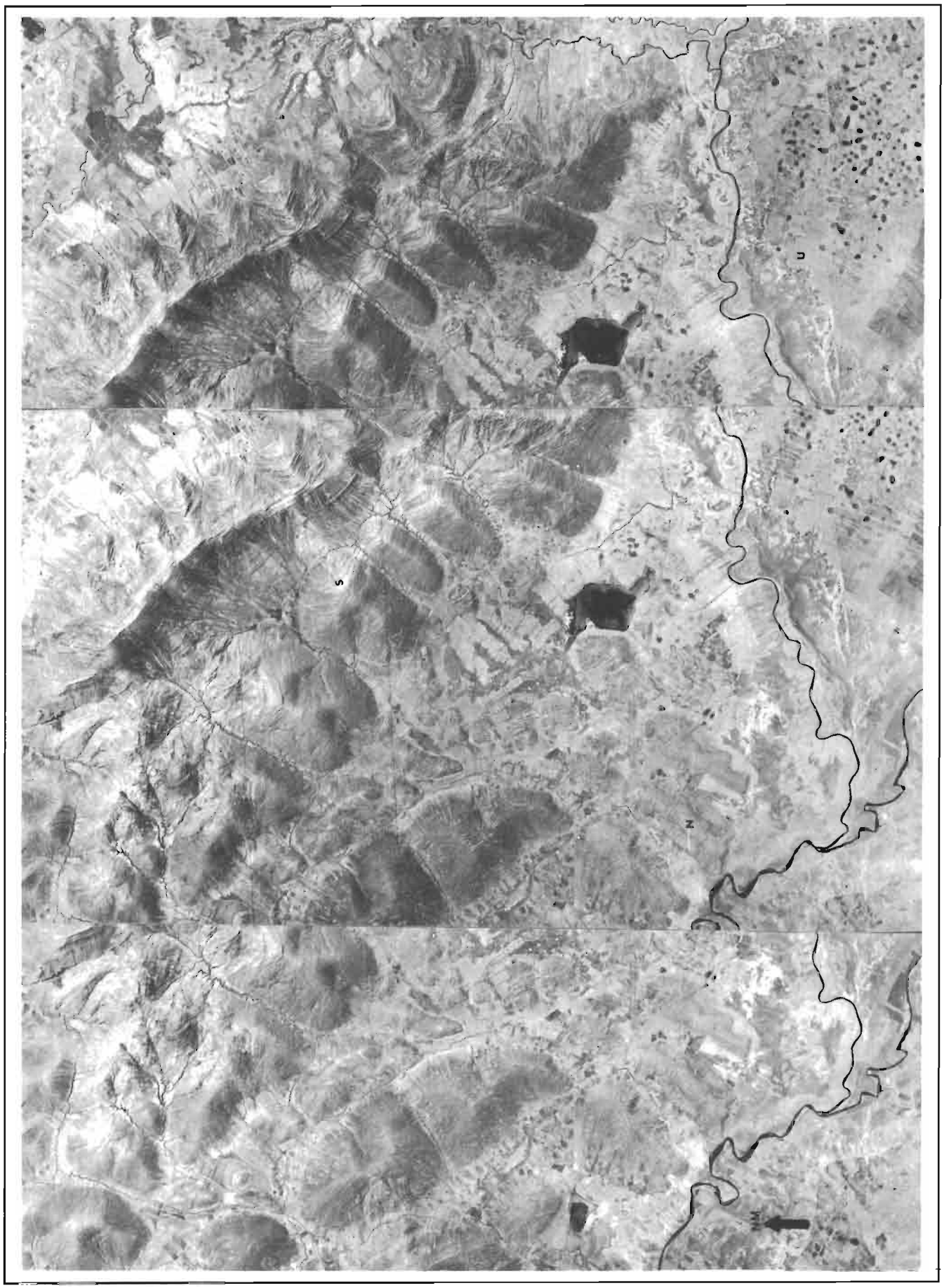
DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en rocas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Drenaje

OBSERVACIONES La textura de tono es suave en depósitos recientes.



MODELO ESTEREOSCOPICO 32

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 00285 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO 2 **FECHA DE TOMA** 06/25/67 **PLAN DE VUELO** HURD

LUGAR DE TOMA Las Carreras - Quebrada Chaupi Unu **ELEVACION** 2300 Mts.

PROVINCIA Sud Cinti **COORDENADAS** Lg. 65/14W Lt. 21/14S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJA TOPOGRAFICA :

ESCALA. 1:250.000.- SF-20-5 1:100.000.- 6530 1:50.000.- II 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Calizas (E) - Arcillas (Z) - Areniscas, conglomerados y areniscas conglomerádicas (H).

EDAD GEOLOGICA Ordovícico (N) - Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA El Molino - Santa Lucía - Camargo

ESTRUCTURA GEOLOGICA Ejemplo de estructura homoclinal de gran desarrollo regional, que corresponde al flanco Este del gran Sinclinal de Camargo.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION La estratificación se halla bien definida por bancos de diferentes espesores. De acuerdo al valor del buzamiento de los estratos se puede observar un mejor desarrollo de Dip slopes y Flatirons en las calizas de la Formación El Molino (E). En las areniscas, conglomerados y areniscas conglomerádicas de la Formación Camargo (H), a pesar de sus buzamientos altos, se observa también desarrollo de Dip slopes, aunque de menores dimensiones.

FALLAS GEOLOGICAS Las rocas de la Formación Camargo se hallan afectadas por fallas transversales de longitudes mayores a los 2 Km. aunque de desplazamientos mínimos. Se identifican por los alineamientos marcados de segmentos de ríos.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Muy marcados **DIACLASAMIENTO** Marcado en dos direcciones

DISCORDANCIA Ordovícico-Cretácico, Cretácico-Terciario.

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES


III
II
NM

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La estructura ha controlado la evolución del paisaje. Se observa un desarrollo acentuado de serranías y valles homoclinales, correspondiendo en esta área un ajuste del río San Juan de Oro a un valle homoclinal con la formación de una llanura aluvial relativamente ancha.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL La actividad erosiva de los ríos es importante en el área. Se observa niveles de terrazas a lo largo del río San Juan del Oro.

EROSION FLUVIAL Terrazas aluviales

ACUMULACION FLUVIAL Llanura aluvial y abanicos aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla con dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media y fina en arcillas

DENSIDAD DE DRENAJE Media y fina en arcillas

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspero en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamientos

OBSERVACIONES En la desembocadura de la Quebrada Chaupi-Unu al río San Juan del Oro, se halla ubicada la fábrica de Cemento dependiente de CODETAR, la cual utiliza como materia prima las calizas de la Formación El Molino.

MODELO ESTEREOSCOPICO 33

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 01502 **FAJA DE VUELO** 33

MISION VUELO 8 **FECHA DE TOMA** **PLAN DE VUELO** Hurd

LUGAR DE TOMA Serranía Caipipendi - Palos Blancos - San Antonio **ELEVACION** 1400 Mts.

PROVINCIA Gran Chaco **COORDENADAS** Lg. 63/42W Lt. 21/24S

DEPARTAMENTO Tarija **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJA TOPOGRAFICA

ESCALA 1:250.000.- SF-20-6 1:100.000.- 6829 1:50.000.- I 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas- Alternacia areniscas-lutitas- Arenas y arcillas

EDAD GEOLOGICA Carbonífero - Triásico - Cretácico -Terciario.

FORMACION GEOLOGICA Escarpment - San Telmo - Cangapi - Tariquia

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa dos estructuras anticlinales comprimidas, con cierres y hundimientos orientadas en direcciones opuestas (Z), cuyos flancos se hallan afectados por fallas longitudinales inversas, que comprimen y deforman a las estructuras sinclinales, las que van desapareciendo hasta que los flancos de los anticlinales se ponen en contacto directo por efecto de dichas fallas. (F1 y F2).

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las rocas se hallan bien estratificadas, aunque por sus buzamientos altos, no es posible identificar la dirección del buzamiento. Para ello se requiere utilizar criterios morfológicos, como los escarpes que desarrollan las serranías homoclinales.

FALLAS GEOLOGICAS El truncamiento de estratos, la convergencia de estratos, el adelgazamiento de estratos, la desaparición de estructuras sinclinales, las relaciones estratigráficas entre las formaciones que aparecen en contacto directo, permiten definir con precisión la existencia y ubicación de dos fallas longitudinales inversas.(F1 y F2).

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO** Si

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA Carbonífero-Triásico, Cretácico-Terciario.

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La estructura controla la evolución del paisaje. Se observan serranías y valles homoclinales muy bien definidos. La serranía de Caipipendi en su sector norte corresponde a un típico ejemplo de serranía anticlinal. De igual manera el drenaje se halla controlado por la estructura, desarrollando el diseño Parrilla.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

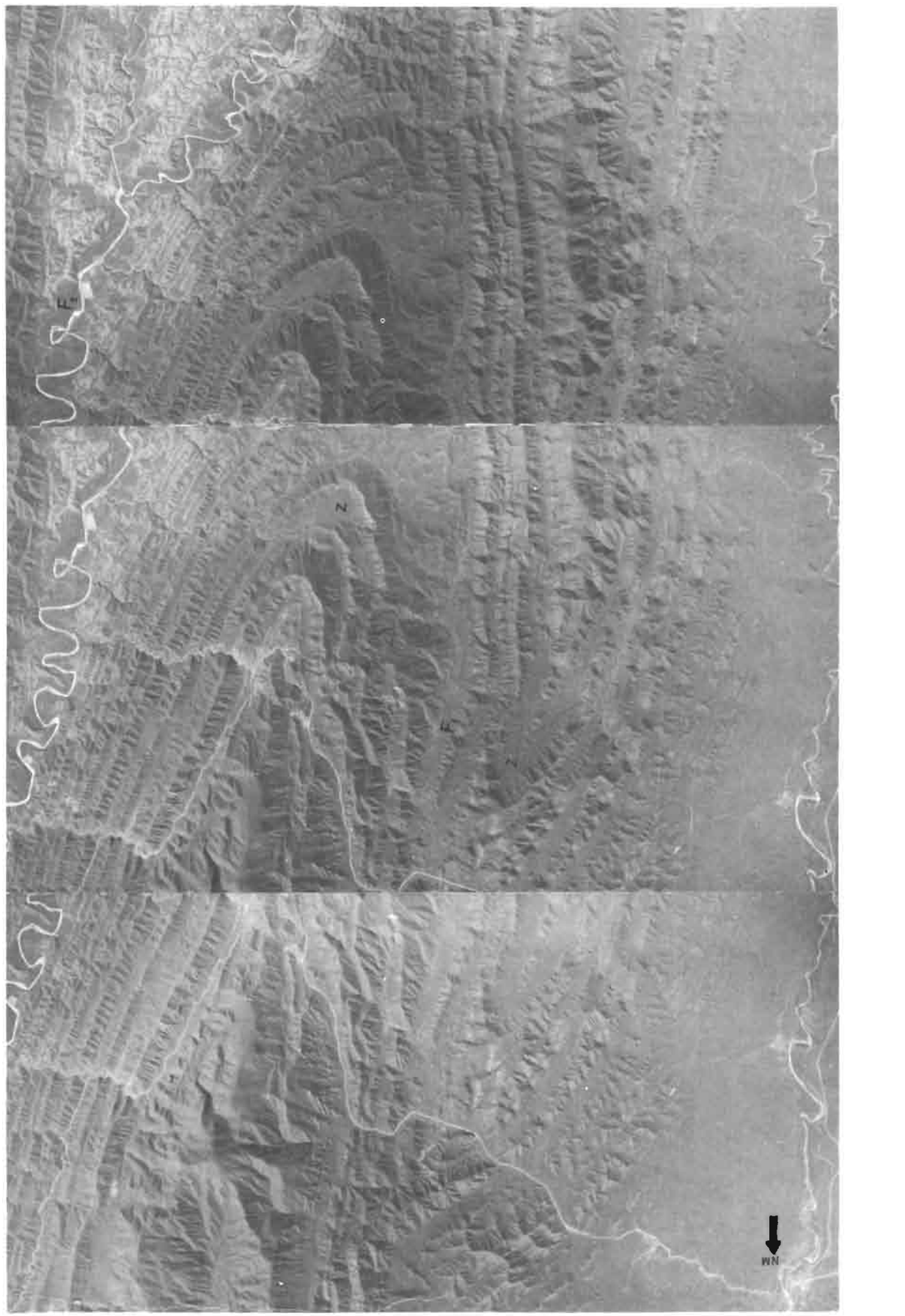
DISEÑO DE DRENAJE Parrilla con dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media y alta en arcillas **DENSIDAD DE DRENAJE** Media y Alta en arcillas

DISEÑO DE TONO Bandeado **TEXTURA DE TONO** Media. Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS**

OBSERVACIONES La secuencia completa que en el terreno es posible identificar corresponde a la siguiente : BASE AL TOPE
Formación Tariquia: Areniscas friables, poco consolidadas, alternan con limolitas y arcillas
Formación Petaca: Nivel delgado de Conglomerados
Gpo. Tacuru - Formación Tapecua: Areniscas
Formación Vitiacua: Calizas delgadas
Formación Cangapi: Areniscas
Formación San Telmo: Diamictitas y areniscas.
Formación Escarpment: Areniscas macizas y diamictitas en esta zona.


N

MODELO ESTEREOSCOPICO 34

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 11776 **FAJA DE VUELO** 9

MISION VUELO 73 **FECHA DE TOMA** 08/31/64 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Monteagudo, Serranías Inao-Yanguilo, Taperillas **ELEVACION** 1400 Mts.

PROVINCIA Hernando Siles **COORDENADAS** Lg. 63/52W Lt.19/45S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJA TOPOGRAFICA

ESCALA 1:250.000: SE-20-14 1:100.000: 6834 1:50.000: IV 1:25.000 : NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas, alternancia areniscas-lutitas

EDAD GEOLOGICA Devónico-Carbonífero-Triásico-Cretácico-Terciario

FORMACION GEOLOGICA Iquiri - Chorro - Escarpment - Cangapi.

ESTRUCTURA GEOLOGICA Estructura anticlinal con hundimiento al Sur, afectado en su flanco Este por una falla longitudinal regional inversa,(K) que en el sector NE del modelo, pone en contacto los flancos de dos estructuras anticlinales y comprime la estructura sinclinal (W) existente entre los indicados anticlinales, ubicada en el sector SE del modelo estereoscópico.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION El buen desarrollo de Dip slopes o Pendientes estructurales, permite la identificación del rumbo y buzamiento de los estratos.

FALLAS GEOLOGICAS Los criterios utilizados para identificar fallas en las fotografías aéreas como truncamiento, convergencia, adelgazamiento y omisión de estratos, relaciones estratigráficas, alineamientos de segmentos de ríos, permiten determinar la existencia de una falla como la ubicada en el flanco Este del anticlinal. (K)

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** En dos direcciones

DISCORDANCIA Carbonífero-Triásico-Cretácico

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES



YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La estructura geológica ha controlado el modelado del paisaje, en el que los procesos fluviales, de remoción en masa y meteorización son los más importantes. Se observa una serranía anticlinal, un valle de falla y una alternancia de serranías y valles homoclinales.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla con dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION Si

ANOMALIAS Lineamientos

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 35

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 00881 **FAJA DE VUELO** 12

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Aguas Calientes (Este de Torotoro) **ELEVACION** 1900 Mts.

PROVINCIA Charcas **COORDENADAS** Lg. 65/44 Lt. 18/08S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox.1:40.000

HOJA GEOLOGICA

HOJA TOPOGRAFICA

ESCALA 1:250.000: SE-20-09 1:100.000: 6439 1:50.000: I 1:25.000: SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION** Alta

CLASE DE ROCA Areniscas (S)-Calizas (Q)-Arcillas (M)-Conglomerados (W)

EDAD GEOLOGICA Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Torotoro - El Molino -Santa Lucía - Cayara - Soyco

ESTRUCTURA GEOLOGICA Cierre de estructura sinclinal.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Bien estratificado - Desarrollo de Dip slopes.

FALLAS GEOLOGICAS Se observa un marcado lineamiento, que puede sugerir fallas transversales con poco desplazamiento.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** Marcado

DISCORDANCIA Paleozoico-Cretácico, Cretácico-Terciario.

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Control del paisaje y drenaje por la estructura y litología. Serranía sinclinal. Alternancia de valles y Serranías homoclinales.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Intensa

ACUMULACION FLUVIAL En ríos principales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla - Dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Medio

DENSIDAD DE DRENAJE Media en conglomerados

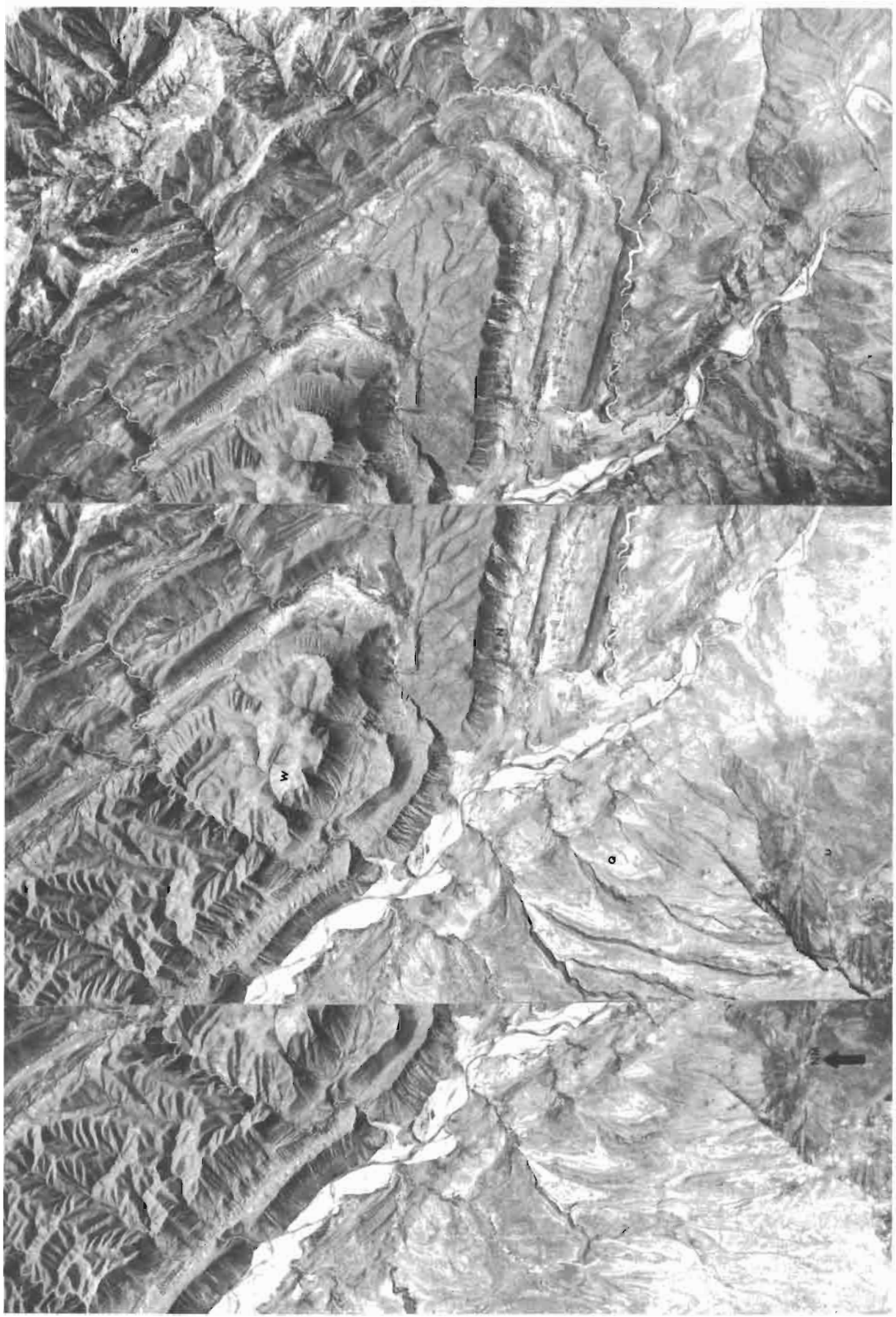
DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera (S) - Suave (N)

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Drenaje

OBSERVACIONES Se observa un pequeño afloramiento de rocas paleozoicas en la parte Sur de la foto (U).



MODELO ESTEREOSCOPICO 36

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 11510 **FAJA DE VUELO** 8

MISION VUELO 72 **FECHA DE TOMA** 08/12/64 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Serranía Inao - Río Ticucha **ELEVACION** 1900 Mts.

PROVINCIA Hernando Siles **COORDENADAS** Lg. 63/53W Lt. 19/37S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJA TOPOGRAFICA

ESCALA 1:250.000: SE-20-14 1:100.000 6835 1:50.000: III 1:25.000: SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternancia lutitas y areniscas - Areniscas

EDAD GEOLOGICA Devónico - Carbonífero - Triásico -Cretácico

FORMACION GEOLOGICA Iquiri- Chorro - Escarpment - Cangapi

ESTRUCTURA GEOLOGICA Corresponde a una estructura homoclinal, que buza hacia al Oeste. Regionalmente corresponde al flanco Oeste de un anticlinal, que corre con la serranía Inao.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las rocas se hallan bien estratificadas, el rumbo y buzamiento de los estratos es de fácil identificación por la presencia de Dip slopes con caras triangulares bien definidas.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Areniscas muy diaclasadas

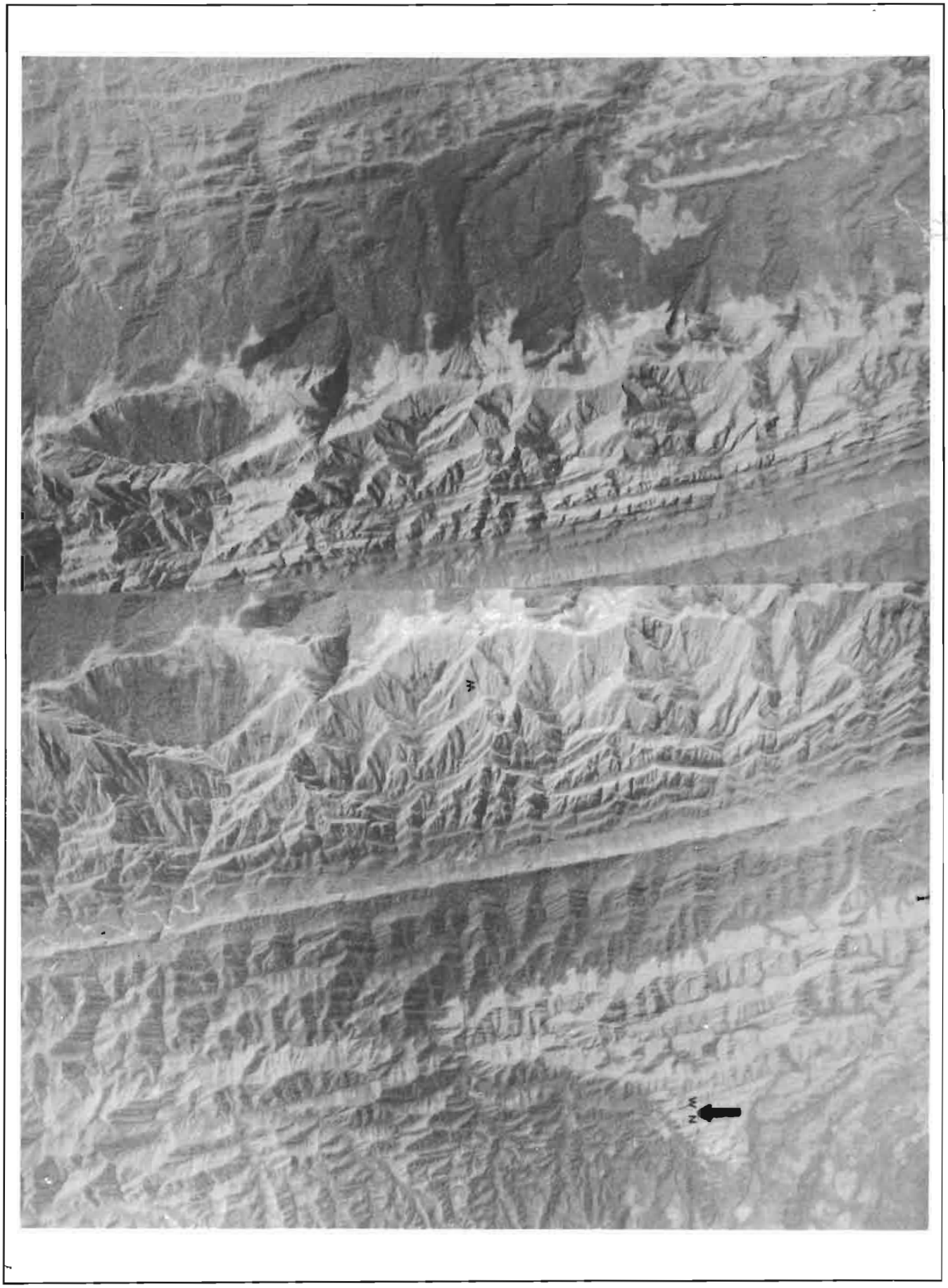
DISCORDANCIA Carbonífero - Triásico - Cretácico

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS



CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Las serranías y valles homoclinales reflejan el alto control de la estructura geológica.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspero en areniscas (W)

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 37

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 98 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 07/14/57 **PLAN DE VUELO**

LUGAR DE TOMA **ELEVACION** 1980 Mts.

PROVINCIA **COORDENADAS**

DEPARTAMENTO **ESCALA DE LA FOTO** Aprox.1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJA TOPOGRAFICA

ESCALA 1:250.000 1:100.000 1:50.000 1:25.000

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - Intercalaciones areniscas, lutitas

EDAD GEOLOGICA Carbonífero - Jurásico

FORMACION GEOLOGICA Grupos Machareti y Mandiyuti - Ichoa

ESTRUCTURA GEOLOGICA Estructura sinclinal, afectada por fracturación o diaclasamiento muy marcado, perpendicular al rumbo, de fácil identificación en la foto aérea.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Por las características texturales de estas rocas, que son de grano grueso y de gran resistencia a la erosión, permiten una rápida identificación del rumbo y buzamiento por los flatirons y Dip slopes que desarrollan. Las caras triangulares de las indicadas formas de erosión, permiten la aplicación de la regla de las Vs, descrita en el texto, para la determinación del rumbo y buzamiento de los estratos.

FALLAS GEOLOGICAS El drenaje del área, en especial los ríos transversales a la estructura, muestran lineamientos muy marcados, que pueden ser consecuencia del ajuste de ellos a zonas de fallas, fracturas y diaclasamiento.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** Muy marcado

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El relieve muestra un perfecto ajuste a la estructura. Se observa un valle sinclinal profundo, flanqueado por serranías homoclinales de fuerte expresión morfológica.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO Si

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla

TEXTURA DE DRENAJE Media

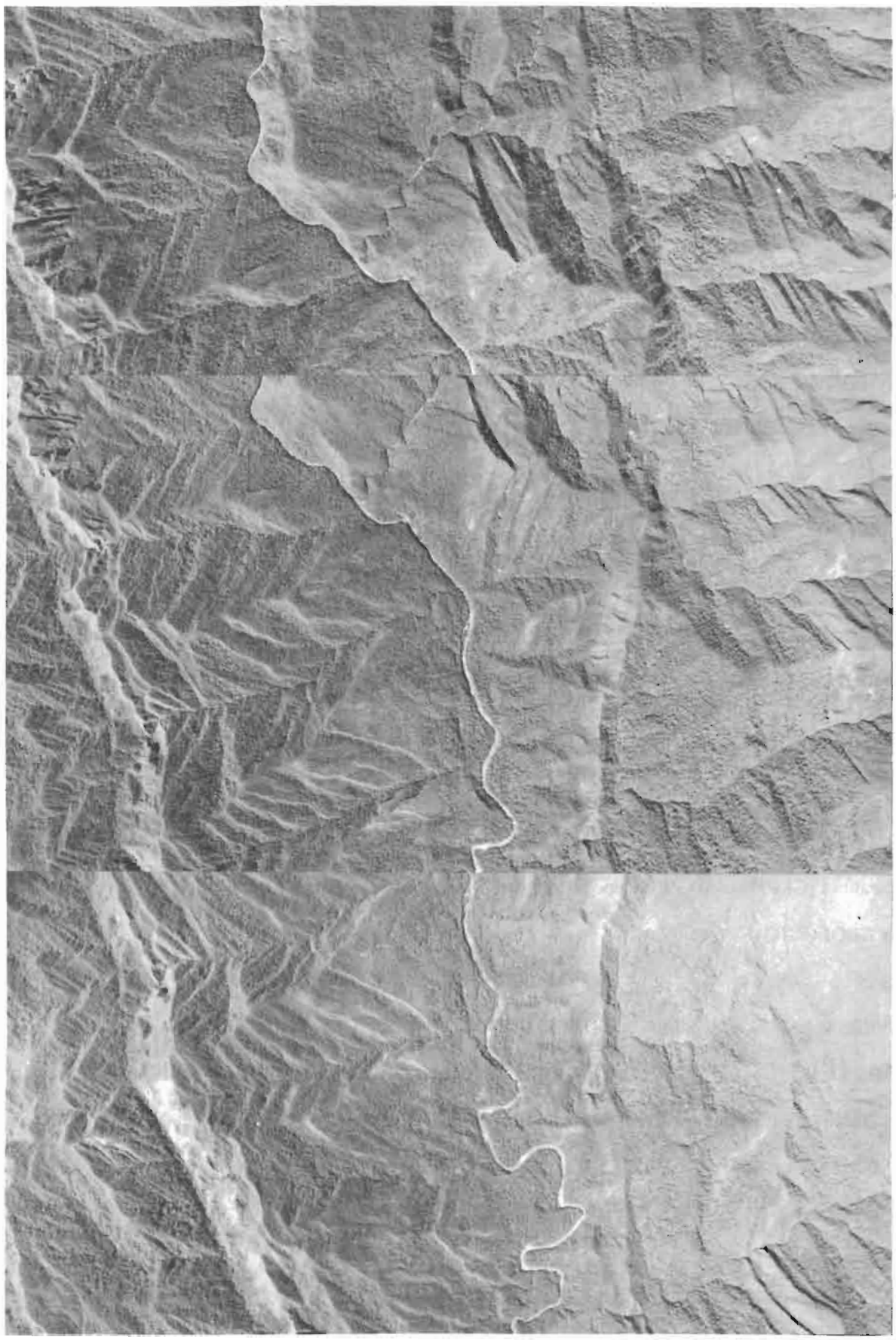
DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION Si

ANOMALIAS Lineamientos



MODELO ESTEREOSCOPICO 38

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 11512 **FAJA DE VUELO** 8

MISION VUELO 72 **FECHA DE TOMA** 12/08/64 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Puente Azero - Río Azero **ELEVACION** 1800 Mts.

PROVINCIA Tomina **COORDENADAS** Lg. 64/01W Lt. 19/35S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox.1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJA TOPOGRAFICA

ESCALA 1:250.000: SE-20-14 1:100.000: 6735 1:50.000: II 1:25.000: NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Lutitas - Areniscas - Alternancia areniscas y lutitas

EDAD GEOLOGICA Devónico-Carbonífero-Triásico -Cretácico

FORMACION GEOLOGICA Iquiri(J), Grupo Machareti y Mandiyuti (C) , Grupo Cuevo (Cangapi) (T), Grupo Tacurú (Tapecua) (K)

ESTRUCTURA GEOLOGICA Flanco Oeste de una gran estructura anticlinal. Localmente puede ser considerada como una estructura homoclinal.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Rocas bien estratificadas con formación de Flatirons, Dip slopes especialmente en las areniscas del Carbonífero (C) y Triásico (T) (Grupo Mandiyuti - Formación Escarpment y Grupo Cuevo - Formación Cangapi).

FALLAS GEOLOGICAS .

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Marcado en las areniscas.

DISCORDANCIA Carbonífero-Triásico - Cretácico

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


NM

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Alternancia de serranías y valles homoclinales controlados por la litología y la estructura.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Intensa actividad fluvial **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla y dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media **DENSIDAD DE DRENAJE** Media

DISEÑO DE TONO Bandeado **TEXTURA DE TONO** Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION Si **ANOMALIAS**

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 39

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 11778 **FAJA DE VUELO** 9

MISION VUELO 73 **FECHA DE TOMA** 08/31/64 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Comunidad Tururumba-Río Caraparirenda **ELEVACION** 1200Mts.

PROVINCIA Hernando Siles **COORDENADAS** Lg. 63/46W Lt. 19/45S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJA TOPOGRAFICA

ESCALA 1:250.000: SE-20-14 1:100.000: 6834 1:50.000: IV 1: 25.000 : NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas y conglomerados poco consolidados - Arcillas.

EDAD GEOLOGICA Terciaria - Cuaternaria

FORMACION GEOLOGICA Grupo Chaco (Formación Guandacay)

ESTRUCTURA GEOLOGICA Debido a la poca consistencia de las areniscas y conglomerados que alternan con las arcillas, es muy difícil identificar el buzamiento de los estratos, lo que imposibilita identificar algunos repliegues.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Como ya se indicó anteriormente, la poca resistencia a la erosión de este conjunto de rocas, en el que predomina el material arcilloso, no permite identificar en la fotografía aérea el buzamiento de los estratos, aunque el rumbo puede ser inferido por la orientación que toman las pequeñas colinas, las cuales muestran una tendencia general en su orientación, llegando incluso a sugerir la presencia de cierres de pequeñas estructuras, ubicadas en la parte central Oeste del modelo.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La poca resistencia a la erosión de esta alternancia de rocas, da lugar al desarrollo de un paisaje fuertemente erosionado, con un relieve muy suave, ondulado, con desarrollo de colinas bajas, cuya tendencia es el desarrollo de una paisaje tipo Badlands.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL La acción erosiva es intensa

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Fina

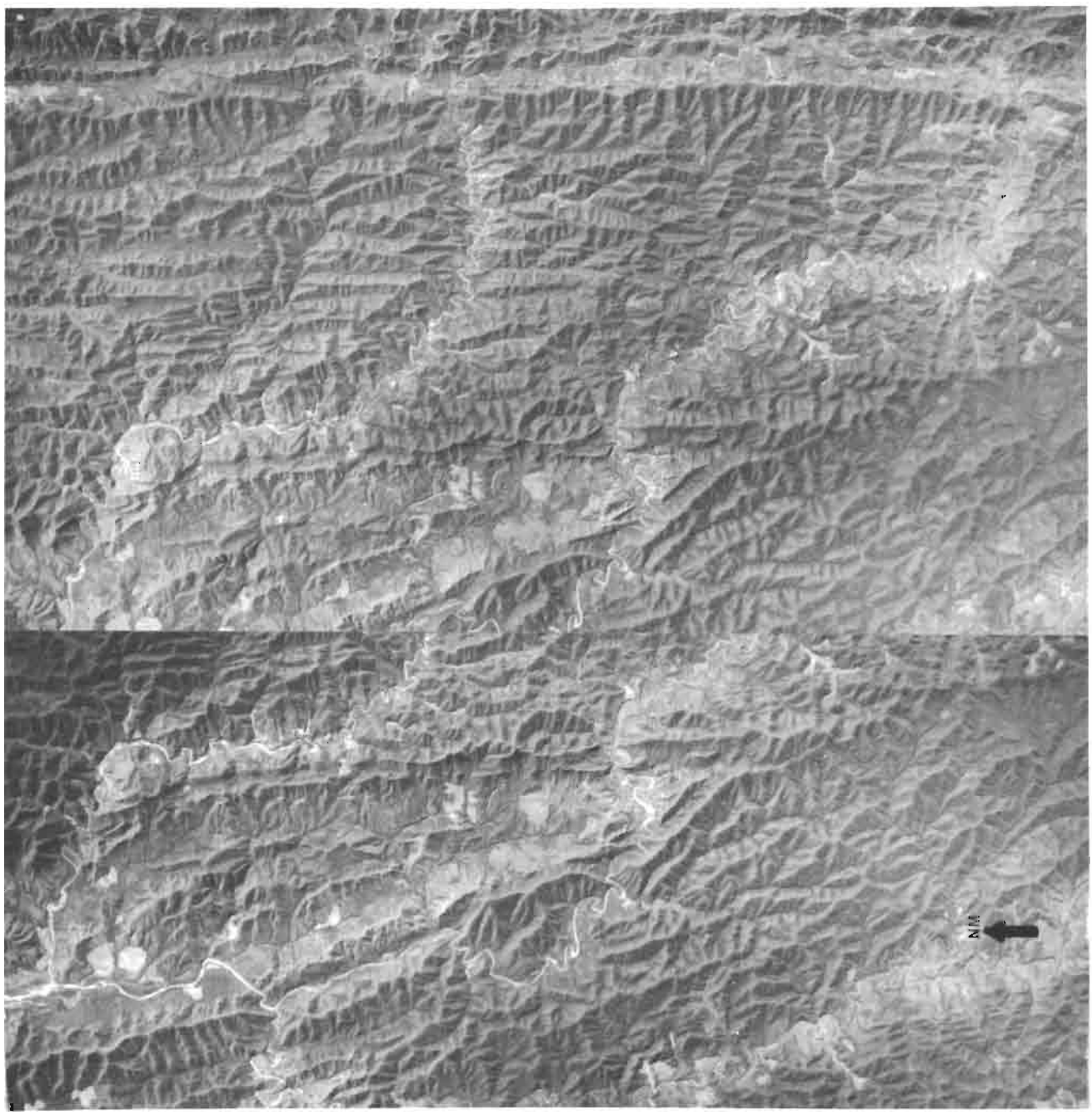
DENSIDAD DE DRENAJE Alta

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS


N.M.

MODELO ESTEREOSCOPICO 40

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 03292 B **FAJA DE VUELO** 17

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/17/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Poopó - Cerro Pan de Azúcar **ELEVACION** 4000 Mts.

PROVINCIA Poopó **COORDENADAS** Lg. 66/55W Lt.19/23S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox.1:40000

HOJA GEOLOGICA Llallagua - 6238:

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SE-19-12 1:100.000: 6238 1:50.000: IV 1:25.000: NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea **ALTERACION** Se observan fajas de alteración (H)

CLASE DE ROCA Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas, Dacita

EDAD GEOLOGICA Silúrico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Cancañiri - Llallagua - Uncía

ESTRUCTURA GEOLOGICA Localmente corresponde a una estructura homoclinal buzando hacia el Este. Se halla afectada por una falla inversa longitudinal de alto ángulo, denominada Falla de Poopó (E-E), por pasar por dicha localidad. Regionalmente corresponde al flanco Oeste de una estructura sinclinal, cuyo núcleo se halla cortado por un pequeño cuerpo intrusivo, (Stock) denominado Pan de Azúcar (N).

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Es posible identificar rumbo y buzamientos en las areniscas de la Formación Llallagua (S), en la que se puede apreciar algún desarrollo de Dip slopes. Por el contrario en las lutitas de la Formación Uncia (U), la identificación del rumbo y buzamiento no es posible realizar en la fotografía aérea. Esta formación se halla cortada por diques y sills.

FALLAS GEOLOGICAS Se observa una falla longitudinal regional inversa de alto ángulo (E), que echa estratos de la formación Cancañiri y Llallagua sobre lutitas de la Formación Uncía. El plano de falla buza hacia el Este. En el modelo estereoscópico, la falla se la identifica por un marcado alineamiento en el relieve, que coincide con un quiebre de pendiente, además de la alineación tonal (H) que tiene. Se observa una falla transversal, a lo largo de la cual existen aguas termales (T).

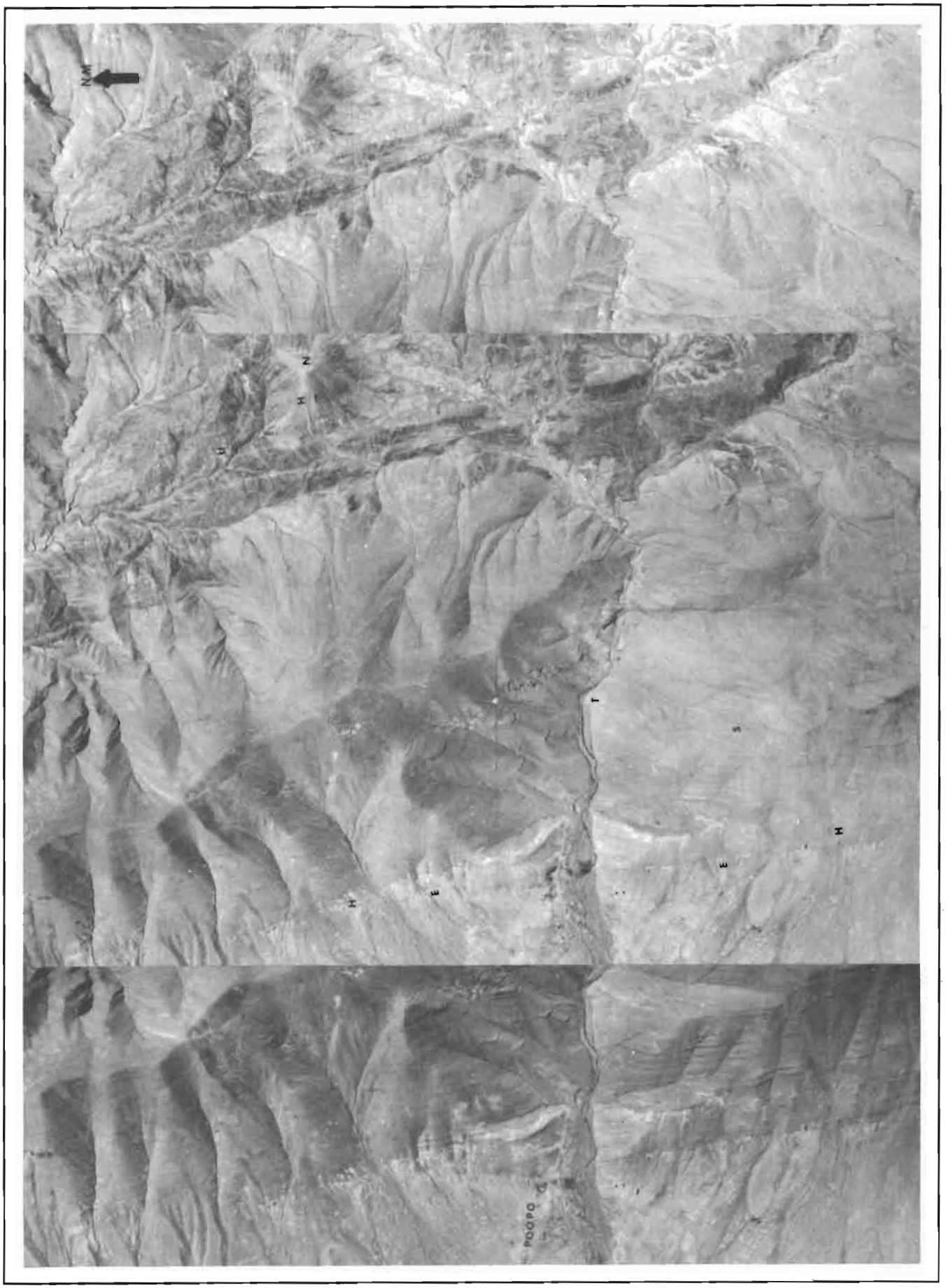
INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES Pequeño cuerpo ígneo tipo Stock


NW
POOPO

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La expresión morfológica de la falla y del pequeño cuerpo intrusivo se hallan muy marcadas en el relieve.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL La acción fluvial es importante **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico localmente.

TEXTURA DE DRENAJE Variable. Fina en lutitas **DENSIDAD DE DRENAJE** Variable. Fina en lutitas

DISEÑO DE TONO Bandeado **TEXTURA DE TONO** Variable. Suave en lutitas

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** Tonal-relieve

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 41

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 7700 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO 173 **FECHA DE TOMA** 06/03/64 **PLAN DE VUELO** Kusera

LUGAR DE TOMA Estancia Cajojani - Quebrada Jocko **ELEVACION** 3860 Mts.

PROVINCIA Nor Chichas **COORDENADAS** Lg. 66/36W Lt.20/57S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Tolapampa - 6231

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SF-19-4 1:100.000: 6231 1:50.000: II 1:25.000: SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - Conglomerados poco consolidados - Arcillas y lutitas

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Potoco

ESTRUCTURA GEOLOGICA Localmente no es posible definir el tipo de estructura geológica, por encontrarse los estratos con buzamientos bajos a horizontales.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las areniscas y conglomerados (S) se hallan estratificadas en bancos delgados, con ángulos de buzamiento bajos a horizontales. La tendencia general del buzamiento es hacia el Este.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** En dos direcciones

DISCORDANCIA Terciario - Cuaternario

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Efectos de erosión y deposición fluvial muy importantes en el área. Especialmente la acumulación y desarrollo de abanicos aluviales.

EROSION FLUVIAL Si

ACUMULACION FLUVIAL Depósitos arenosos en lecho río (Uadis)

LACUSTRE

EOLICO Si

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico en arcillas y lutitas

TEXTURA DE DRENAJE Fina en arcillas y lutita

DENSIDAD DE DRENAJE Alta en arcillas y lutita

DISEÑO DE TONO Amigdoidal

TEXTURA DE TONO Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES


NN
Cerro Jocuno

MODELO ESTEREOSCOPICO 42

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 02948 B **FAJA DE VUELO** 40

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/07/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Punutuma - Palca **ELEVACION** 3390 Mts.

PROVINCIA Quijarro **COORDENADAS** Lg. 66:09W Lt. 20/03S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Kilpani - 6334

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SF-19-04 1:100.000: 6333 1:50.000: I 1:25.000: NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION** Si

CLASE DE ROCA Areniscas - arcillas, alternancia lutitas, areniscas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Silúrico - Cretácico

FORMACION GEOLOGICA Cancañiri-Llallagua-Uncía-Yura-Tarapaya

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observan una alternancia de pliegues anticlinales y sinclinales muy comprimidos por efecto de fallas longitudinales inversas de alto ángulo. Otro sistema de fallas importantes son fallas transversales que afectan a los pliegues sinclinales del Cretácico.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS** No

ESTRATIFICACION La estratificación es más notoria en las areniscas de las Formaciones Yura (Y) y Llallagua (S).

FALLAS GEOLOGICAS Las fallas inversas de alto ángulo longitudinales, pueden ser identificadas en el modelo por alineaciones de segmentos de ríos y de tono. (Tonos claros). El modelo muestra un ejemplo tipo relacionado con el desplazamiento axial de estructuras con levantamiento o descenso de la nariz de un pliegue. Los flancos de los sinclinales cretácicos (K1 y K2) muestran un ensanchamiento aparente mayor, que los flancos del bloque donde se halla el cierre del sinclinal, sugiere que el bloque del cierre ha sido desplazado hacia abajo, mientras que el otro bloque ha sido desplazado hacia arriba.

INVERSAS Si **NORMALES** Si **DE RUMBO** Si

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** Si

DISCORDANCIA Silúrico-Cretácico, Ordovícico-Cretácico

INTRUSIONES

VULCANISMO


Q
K1
NM

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El complejo control que ejerce la estructura, ha dado lugar al desarrollo de valles y serranías sinclinales, valles de falla.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Fuerte

ACUMULACION FLUVIAL Llanura aluvial de gran desarrollo con cursos meándrico y trenzados. Abanicos aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla y dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media a gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Alta a media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en areniscas.

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonales

OBSERVACIONES Las rocas de la formación Cancañiri, por sus características texturales complejas, su orígen en discusión, su expresión morfológica y características fotogeológicas, es descrita en el texto como perteneciente al grupo de las areniscas. En la literatura geológica, algunos autores la describen como diamictita, otros la describen como grawaca.

MODELO ESTEREOSCOPICO 43

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 21224 **FAJA DE VUELO** 326

MISION VUELO 123 **FECHA DE TOMA** 08/21/55 **PLAN DE VUELO** Hykon

LUGAR DE TOMA Sullcatiti-E. de Jesús de Machaca **ELEVACION** 3860 Mts.

PROVINCIA Ingavi **COORDENADAS** Lg. 68/43W Lt. 16/47S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Jesús de Machaca - 5843

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SE-19-03 1:100.000: 5843 1:50.000: I 1:25.000: SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentarias **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternancia areniscas y lutitas-Arcillas-Depósitos aluviales

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Tiwanacu - Ulloma

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Se observa algunos rasgos de estratificación.

FALLAS GEOLOGICAS La alineación de abanicos aluviales y la presencia de algunos escarpes podrían sugerir la existencia de una zona de fallamiento paralela al rumbo general de la estructura.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Los procesos de erosión - deposición y los lacustres han determinado el tipo de paisaje. El río principal corta depósitos arcillosos lacustres. Se observan terrazas lacustres (Q) sobre cuyo material arcilloso se ha desarrollado un paisaje muy típico asociado con un relieve que muestra depresiones superficiales que constituyen pequeñas lagunillas. Esta foto muestra un ejemplo tipo de abanicos aluviales coalescentes (N) que forman el típico paisaje denominado bajada o llanura de pie de monte. En algunos valles de orientación E-W, se observan algunos rasgos de glaciación que no son muy claros en el modelo.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL Posible existencia

FLUVIAL Efectos de erosión y deposición fluvial muy importantes en el área. Especialmente la acumulación y desarrollo de abanicos aluviales.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos aluviales (bajadas)

LACUSTRE Terrazas lacustres

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dicotómico en abanicos aluviales - Meándrico en llanura

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

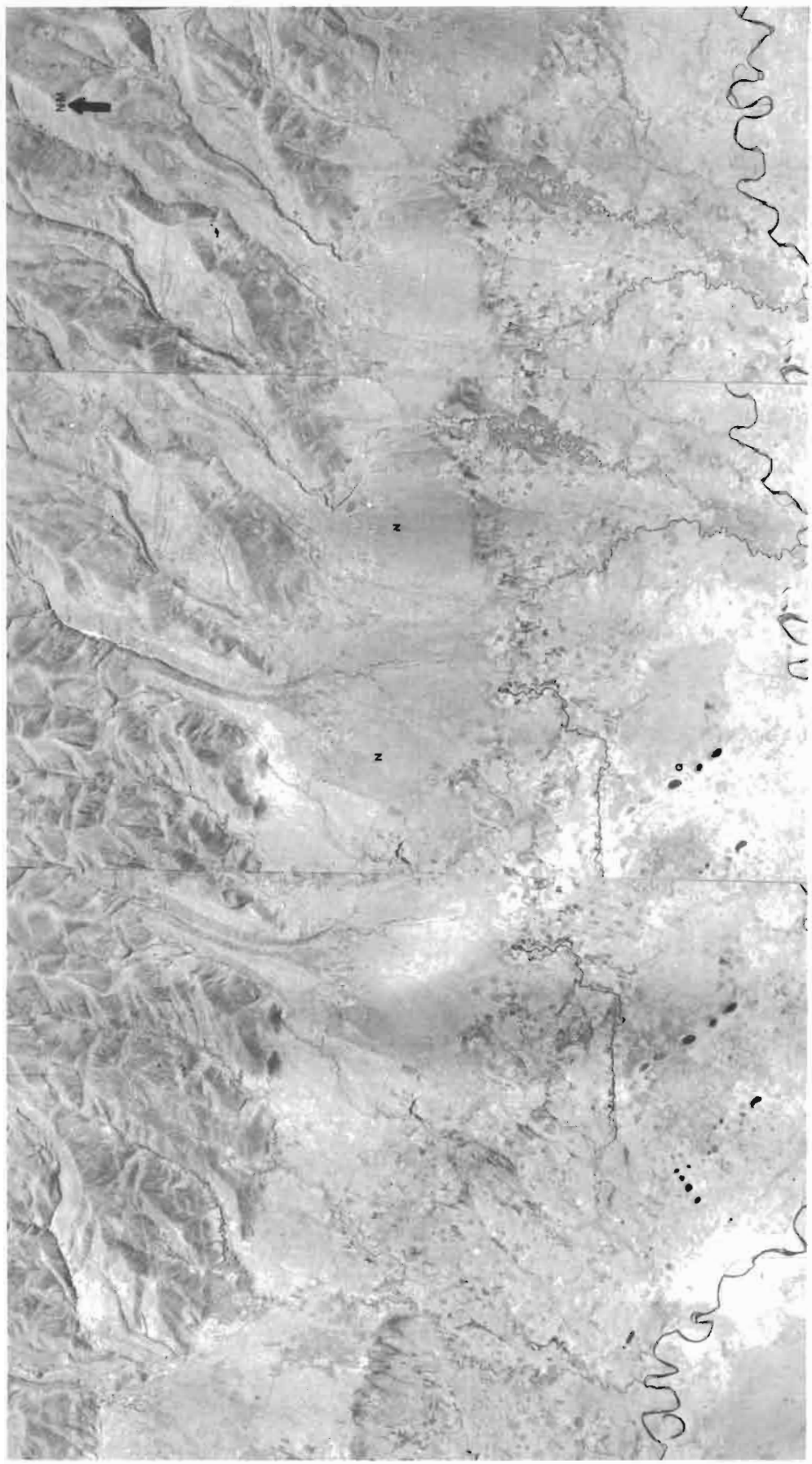
DENSIDAD DE DRENAJE Baja

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave en depósitos aluviales

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS De drenaje


NW

MODELO ESTEREOSCOPICO 44

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 02628 **FAJA DE VUELO** 37

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/01/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Laguna Sevaruyo - Estancia Villcani **ELEVACION** 3749 Mts.

PROVINCIA Avaroa **COORDENADAS** Lg. 66/52W Lt. 19/25S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Sevaruyo - 6235

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SE-19-16 1:100.000: 6235 1:50.000: IV 1:25.000: SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea extrusiva **ALTERACION** Fuerte

CLASE DE ROCA Lavas - (andesitas - tobas)

EDAD GEOLOGICA Terciaria

FORMACION GEOLOGICA Los Frailes

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Fino, en dos direcciones

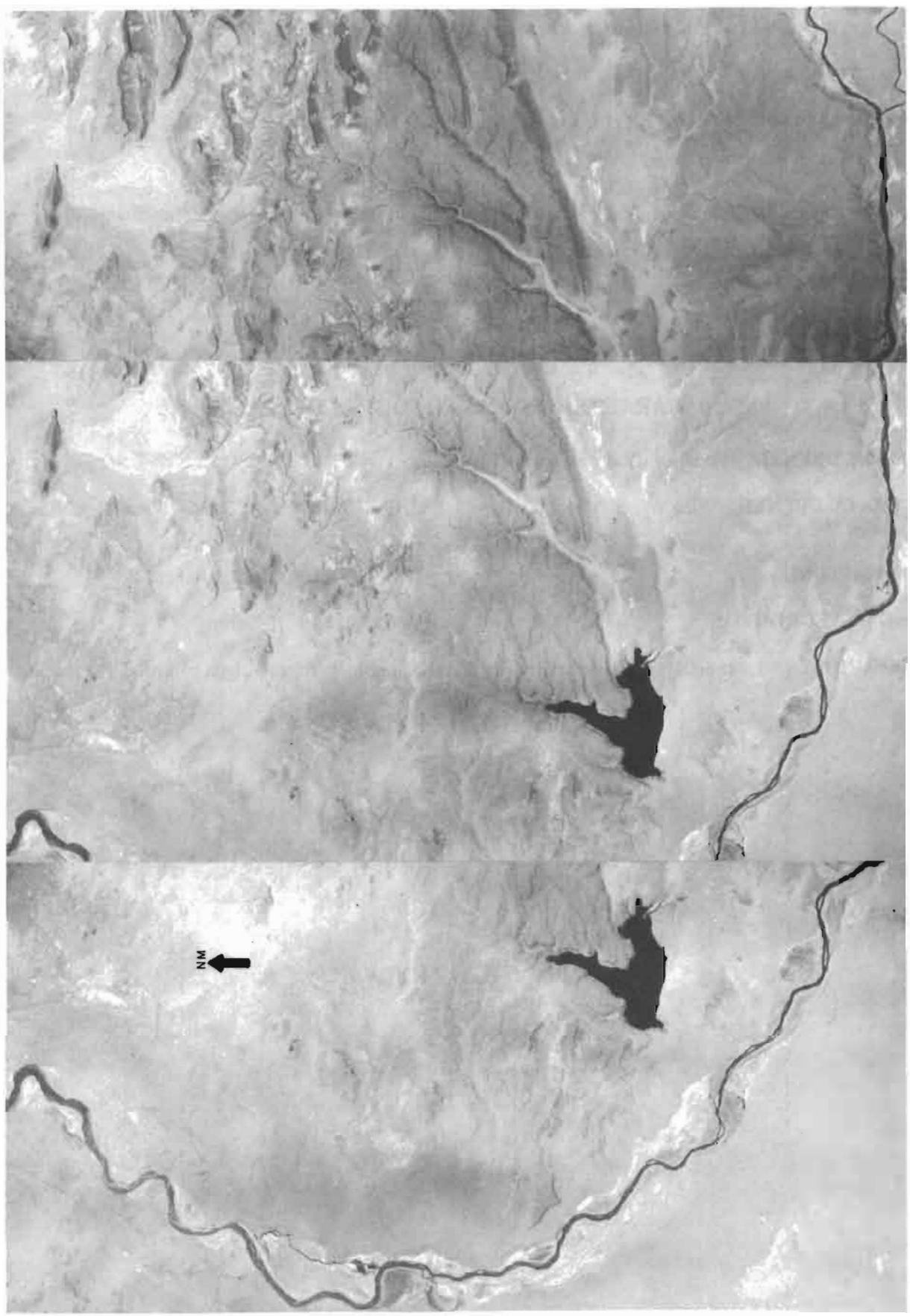
DISCORDANCIA

INTRUSIONES Muy pequeñas

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


NM

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La actividad ígnea y eólica han sido las más importantes

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Efectos de erosión y deposición fluvial muy importantes en el área. Especialmente la acumulación y desarrollo de abanicos aluviales.

EROSION FLUVIAL Terrazas **ACUMULACION FLUVIAL** Depósitos del río actual

LACUSTRE **EOLICO** Si

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Anular y dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Fina a media en lavas y tobas intercaladas. **DENSIDAD DE DRENAJE** Fina Media en lavas y tobas intercaladas

DISEÑO DE TONO **TEXTURA DE TONO** Aspera

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** De drenaje

OBSERVACIONES La anomalía de drenaje que es de tipo anular se halla sujeta a algún control del subsuelo.

MODELO ESTEREOSCOPICO 45

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 03302 **FAJA DE VUELO** 17

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/16/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Catavi - Laguna Tranque (Represa) **ELEVACION** 3700 Mts.

PROVINCIA Bustillos **COORDENADAS** Lg. 66/32W Lt. 18/23S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Llallagua 6238

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SE-19-12 1:100.000: 6238 1:50.000: I 1:25.000: NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea extrusiva **ALTERACION** Sí

CLASE DE ROCA Areniscas - Alternancia lutitas y areniscas, alternancia areniscas y lutitas - Lavas (riolita, dacita)

EDAD GEOLOGICA Silúrico - Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Cancañiri-Llallagua-Uncía-Catavi- Cretácico no diferenciado

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa una alternancia de pliegues anticlinales y sinclinales estrechos, con flancos afectados por fallas longitudinales inversas, cubiertas hacia el norte por lavas de la Meseta de Morococala (M).

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION En las areniscas de la Formación Llallagua, la identificación del rumbo y buzamiento es más sencilla por constituir estratos conspícuos por su resistencia a la erosión. En las rocas de las otras formaciones, el bandeamiento fino, sirve de criterio para identificar el rumbo de la estratificación, mientras que el buzamiento es posible determinarlo si se desarrollan algunas Vs de erosión en los planos de estratificación.

FALLAS GEOLOGICAS La identificación de fallas en este modelo, sólo es posible si se utilizan criterios estratigráficos.

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** En dos direcciones en lavas

DISCORDANCIA Silúrico-Cretácico, Cretácico-Terciario

INTRUSIONES

VULCANISMO Se observa una cubierta de lavas, de composición riolítica y dacítica, que corresponde al borde terminal Sur de la Meseta de Morococala. Podría tratarse de un volcanismo de fisura.

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La acción de los procesos fluviales y vulcanismo son los principales responsables en el modelado del relieve. Se observa niveles de terrazas, que sugieren una profundización muy activa de los principales ríos del área.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas aluviales

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico. En lavas angular y dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media a fina. En lavas media a baja

DENSIDAD DE DRENAJE Media a alta. En Lavas media a baja

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en areniscas y lavas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonales

OBSERVACIONES Las formaciones La Puerta, Condo del Cretácico, que afloran en el área, no son de fácil identificación. La Formación Los Frailes del Terciario, por su tonos más claros y el tipo de relieve horizontal a suavemente ondulado, es de mejor identificación en la fotografia aérea..


W
NM

MODELO ESTEREOSCOPICO 46

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 7865 **FAJA DE VUELO** 10

MISION VUELO 50 **FECHA DE TOMA** 05/06/64 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Villa Abecia-Ríos Tumusla y Pilaya **ELEVACION** 2260 Mts.

PROVINCIA Sud Cinti **COORDENADAS** Lg. 65/15W Lt. 20/59S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50.000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SE-20-1 1:100.000: 6531 1:50.000: III 1:25.000: SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas, conglomerados, calizas, arcillas, alternancia lutitas y areniscas.

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Cretácico- Terciario

FORMACION GEOLOGICA Camargo - Torotoro - Molino - Pircancha

ESTRUCTURA GEOLOGICA Localmente corresponde a una estructura homoclinal. Regionalmente pertenece al flanco Este del gran sinclinal de Camargo.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION La identificación de la estratificación en las rocas de edad Terciaria y Cretácica es más rápida que en las rocas de edad Ordovícica. Las calizas de la Formación El Molino muestran buen desarrollo de Dip slopes y Flatirons, cuyas caras triangulares permiten definir con bastante precisión el rumbo y buzamiento (M).

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

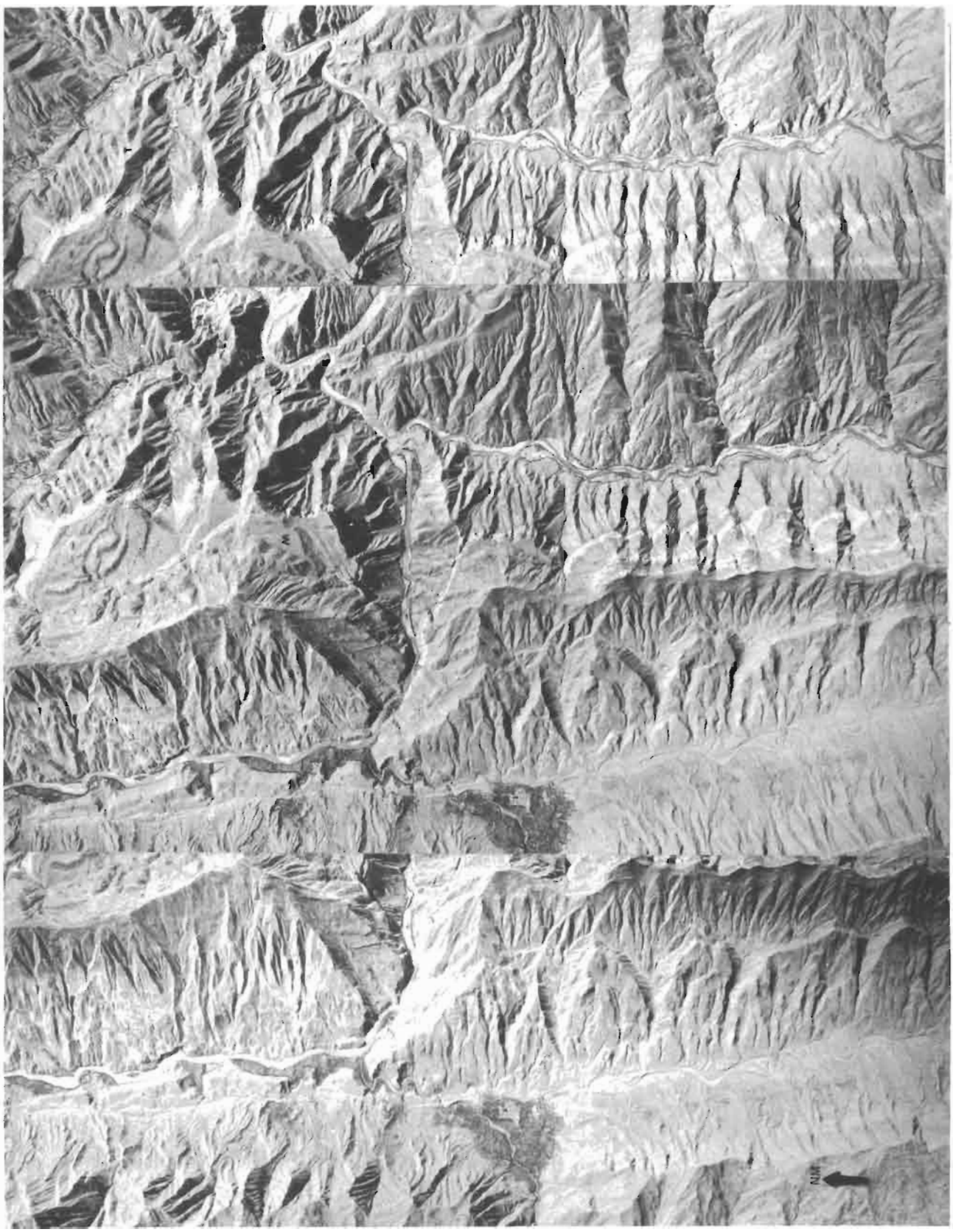
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


NW

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Las rocas de edad Cretácica y Terciaria, controlan el desarrollo de serranías y valles homoclinales. En rocas ordovícicas no se observa ese control (T).

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los ríos han profundizado sus valles, desarrollando niveles de terrazas aluviales.

EROSION FLUVIAL Terrazas aluviales

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales, abanicos aluviales.

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Localmente dendrítico en Ordovícico

TEXTURA DE DRENAJE Fina a media

DENSIDAD DE DRENAJE Alta a media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Suave a media

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES Las rocas del Ordovícico, en el área corresponden a las Formaciones Cieneguillas, Obispo, Agua y Toro, Pircancha.

MODELO ESTEREOSCOPICO 47

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3506 B **FAJA DE VUELO** 18

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/17/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Poopó - Mina Trinacria **ELEVACION** 3900 Mts.

PROVINCIA Poopó **COORDENADAS** Lg. 66/56W Lt. 18/26S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox.1:40000

HOJA GEOLOGICA Llallagua - 6238

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SE-19-12 1:100.000: 6238 1:50.000: IV 1:25.000: SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - Alternancia lutitas, areniscas.

EDAD GEOLOGICA Silúrico

FORMACION GEOLOGICA Cancañiri-Llallagua-Uncía

ESTRUCTURA GEOLOGICA Localmente corresponde a una estructura homoclinal que buza hacia el Este.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** Si **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las areniscas de la Formación Llallagua (S) se hallan bien estratificadas, en las cuales es posible anotar estratos conspícuos. En los lugares donde desarrolla Dip slopes, la dirección del buzamiento, puede ser rápidamente determinada.

FALLAS GEOLOGICAS Apoyándose en criterios morfológicos como el alineamiento marcado que se produce por el quiebre de pendientes en la ladera Oeste de la serranía homoclinal, además del criterio estratigráfico, es posible inferir una falla longitudinal de tipo inversa (M) que echa estratos de la Formación Llallagua y Cancañiri sobre las lutitas de la Formación Uncía. (U). Es muy frecuente la presencia de fallas transversales. .

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La estructura ha controlado el modelado del paisaje. La serranía homoclinal desarrollada en las areniscas de la Formación Llallagua es un ejemplo de ello. En el área se observan algunos remanentes de formas debidas a la acción de la glaciación, como las pequeñas morrenas laterales, ubicadas en la parte sur de la ladera Oeste de la serranía homoclinal (H).

GLACIACION Se observa rasgos de glaciación

EROSION GLACIAL Si

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales

FLUVIO GLACIAL Depósitos fluvioglaciares

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas aluviales

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos aluviales

LACUSTRE Terrazas (P)

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa a media

DENSIDAD DE DRENAJE Baja a media

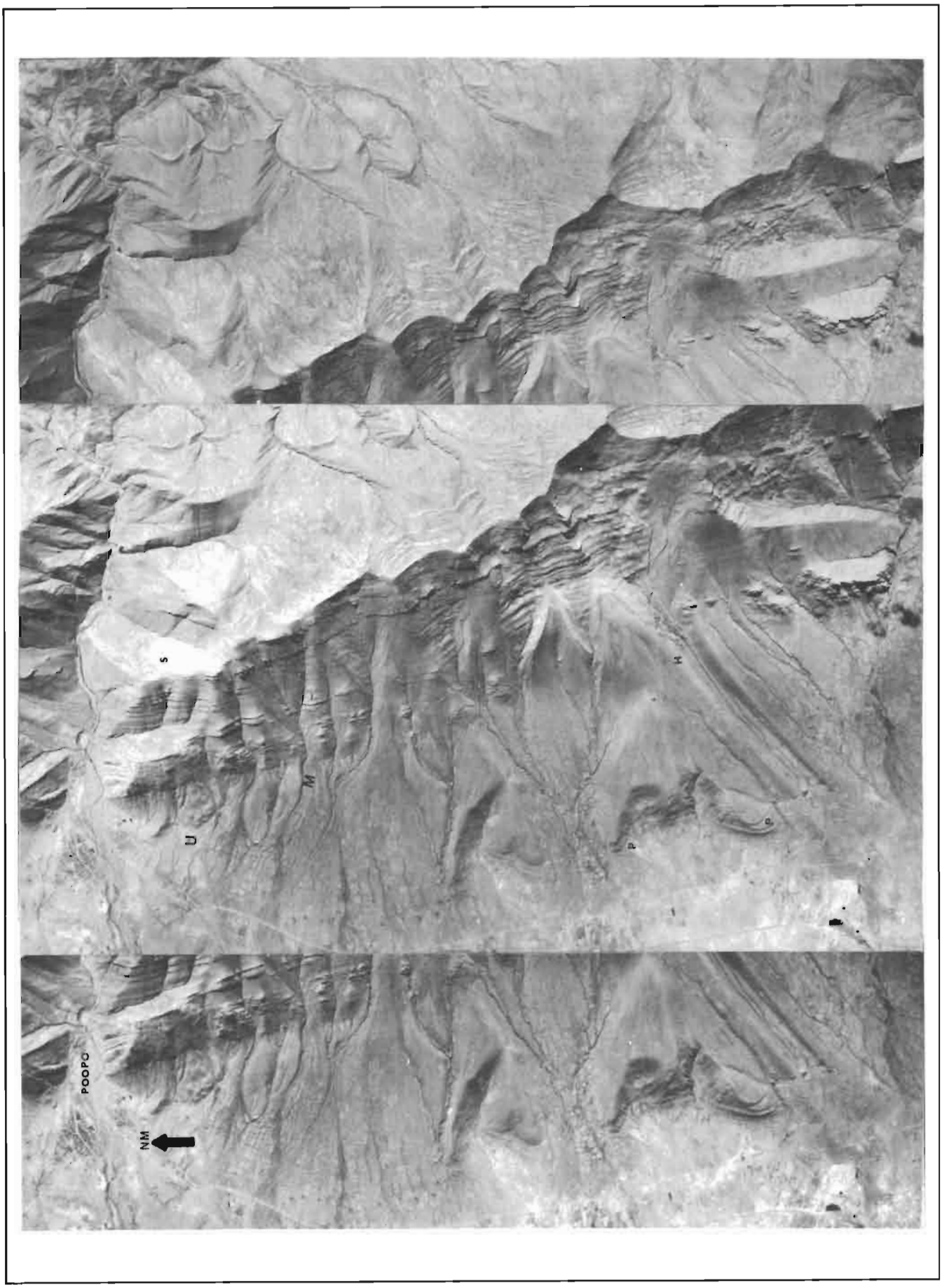
DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Alineamientos

OBSERVACIONES


POOPC
NM

MODELO ESTEREOSCOPICO 48

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 02771 **FAJA DE VUELO** 5

MISION VUELO 14 **FECHA DE TOMA** 09/06/67 **PLAN DE VUELO** Hurd

LUGAR DE TOMA Lampaya **ELEVACION** 3800 Mts.

PROVINCIA Modesto Omiste **COORDENADAS** Lg. 65-47W Lt. 22-04S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SF-20-9 1:100.000: 6427 1:50.000: IV 1:25.000: NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION** En rocas del Ordovícico

CLASE DE ROCA Alternancia lutitas, areniscas - Conglomerados poco consolidados

EDAD GEOLOGICA Ordovícico (N) - Terciario-Cuaternario? (Q)

FORMACION GEOLOGICA Sin diferenciar

ESTRUCTURA GEOLOGICA Las rocas del Ordovícico, desarrollan un pliegue anticlinal, cuyos buzamientos en el modelo no son de fácil identificación. Esta estructura se halla cortada por un cuerpo intrusivo, ubicado en la parte NW del modelo, que no puede ser observado con estereoscopía. El Flanco Este se halla afectado por una falla longitudinal.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION La estratificación puede ser identificada con dificultad.

FALLAS GEOLOGICAS Por el alineamiento marcado que muestra el único río orientado en dirección NS, ubicado en el flanco Este del anticlinal, se puede inferir la presencia de una falla longitudinal (E) de gran importancia. Trabajo de campo muestra que la falla se halla asociada con zonas de mineralización de manganeso.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES Si

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


WN

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Dos son las expresiones morfológicas que se observan en el modelo, que se hallan en función del tipo de roca y la estructura. Se hallan separadas por una falla longitudinal alineada a lo largo de un río de dirección E-W. La expresión morfológica en rocas del Ordovícico, es más fuerte y ondulada que en las rocas de edad Terciaria-Cuaternaria, que muestran un relieve casi plano, con desarrollo de una superficie de erosión y terrazas aluviales.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Si

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico - radial

TEXTURA DE DRENAJE Media a fina

DENSIDAD DE DRENAJE Media a alta

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS De drenaje y tonal

MODELO ESTEREOSCOPICO 49

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 6611 **FAJA DE VUELO** 9

MISION VUELO 42 **FECHA DE TOMA** 05/09/60 **PLAN DE VUELO** Kusera

LUGAR DE TOMA Qbrda. Chaqueri Mayu al W. de Tazna **ELEVACION** 4250 Mts.

PROVINCIA Nor Chichas **COORDENADAS** Lg. 66/17W Lt. 20/37S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Ubina - 6332

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SE-19-4 1:100.000: 6332 1:50.000: III 1:25.000: SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternacia areniscas y lutitas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico

FORMACION GEOLOGICA Ordovícico sin diferenciar

ESTRUCTURA GEOLOGICA Fuertemente plegada y fallada, con dos direcciones de plegamiento. Los pliegues de orientación E-W, corresponden a un plegamiento muy intenso con desarrollo de pliegues menores. El plegamiento NW-SE corresponde a la dirección principal de los pliegues mayores.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION En la alternancia de lutitas y areniscas de edad Ordovícica, la identificación de rumbos y buzamientos no es sencilla. En aquellos sectores donde los afloramientos de areniscas y limolitas predominan, es posible determinar rumbo y buzamientos.

FALLAS GEOLOGICAS Un fuerte alineamiento del río mayor del área, sugiere la presencia de una falla longitudinal que afecta a rocas del Ordovícico.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO** Si

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA Ordovícico - Cretácico

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El drenaje del área muestra cierta orientación, que puede reflejar un control de fallamiento o diaclasamiento, especialmente en rocas de edad Ordovícica.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Si

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave a intermedia

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS De drenaje

OBSERVACIONES El drenaje muestra en los ríos una deflexión simple que puede ser debida a un control del subsuelo por presencia de algún cuerpo intrusivo.



MODELO ESTEREOSCOPICO 50

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 2038 **FAJA DE VUELO** 6

MISION VUELO 13 **FECHA DE TOMA** 05/29/63 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Estancia Incapampa - Río Pilcomayo **ELEVACION** 2000 Mts.

PROVINCIA Linares **COORDENADAS** Lg. 64/46W Lt. 19/28S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SE-20-13 1:100.000: 6635 1:50.000: IV 1:25.000: SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - Arcillas - Calizas

EDAD GEOLOGICA Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Torotoro - Molino - Santa Lucía - Cayara

ESTRUCTURA GEOLOGICA Repliegues en rocas Cretácicas, desarrollados en la terminación de una estructura sinclinal mayor ubicada al sur del modelo. Observe el cierre de las estructuras anticlinales con hundimientos hacia el Sur.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las rocas se hallan bien estratificadas. En la mayoría de las rocas se desarrollan Dip slopes o pendientes estructurales, cuyos planos de estratificación presentan caras triangulares bien definidas, que permiten la rápida identificación del rumbo y buzamiento.

FALLAS GEOLOGICAS En este sector, se podría considerar que el río Pilcomayo corre a lo largo de una zona de falla, que coincide además con el cierre de una estructura sinclinal.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

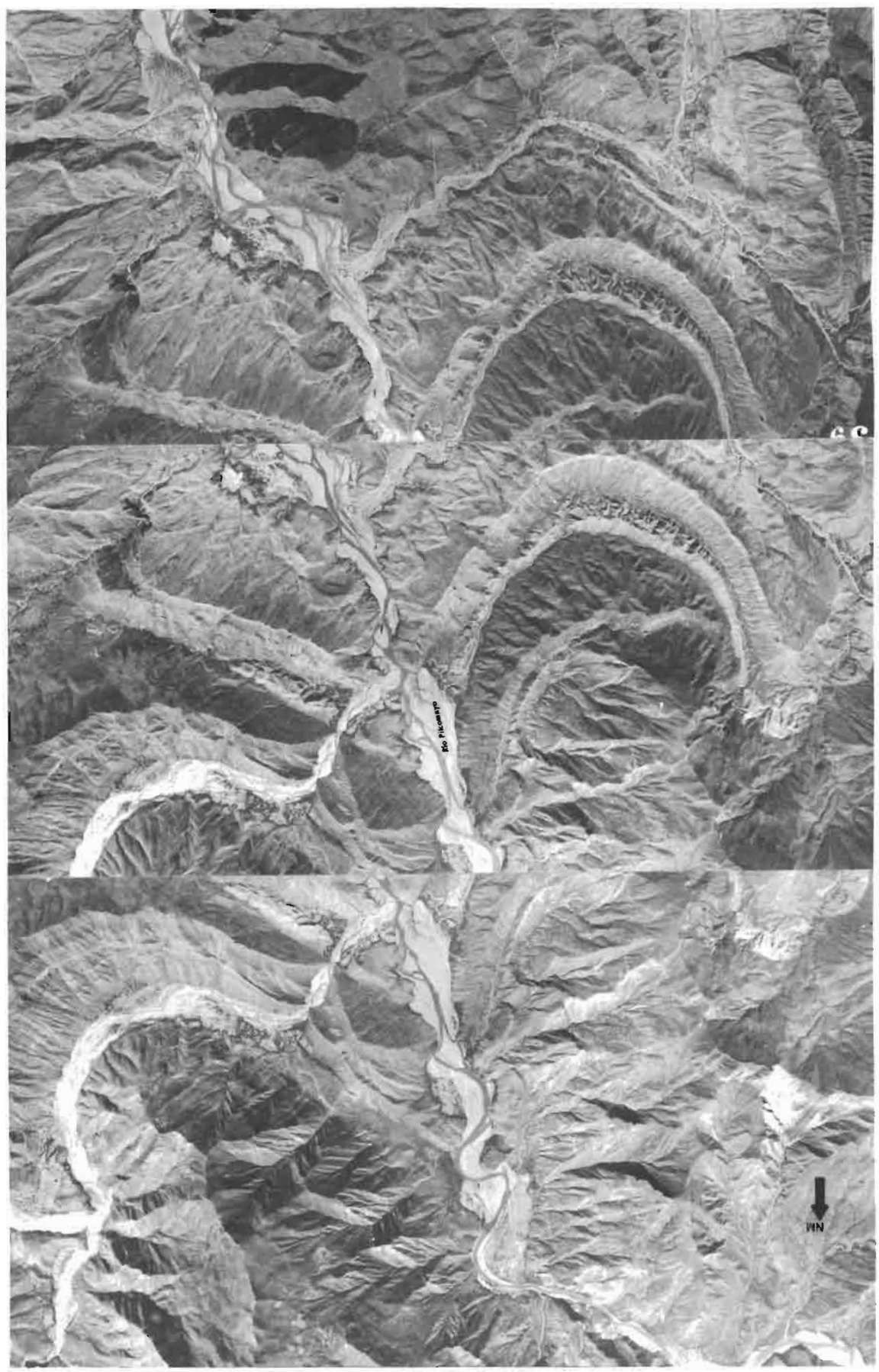
DISCORDANCIA Cretácico - Terciario

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


Río Pilcomayo
NN

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Se observan las terminaciones de dos serranías anticlinales y un valle sinclinal y de falla.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Acción importante

ACUMULACION FLUVIAL Depósitos aluviales en río principal

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla curvado

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Baja a media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera a media

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS De drenaje

MODELO ESTEREOSCOPICO 51

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 1255 **FAJA DE VUELO** 2254A

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 10/07/68 **PLAN DE VUELO**

LUGAR DE TOMA Volcán Licancabur **ELEVACION** 5868 Mts.

PROVINCIA Sud Lípez **COORDENADAS** Lg. 67/51W Lt.22/50S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SF-19-11 1:100.000: 6025 1:50.000: IV 1:25.000: NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea extrusiva **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Andesitas - Piroclastos - Lavas recientes

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Estratos volcanes - Lavas cuaternarias.

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO El área corresponde a la región volcánica de la cordillera Occidental de los Andes, que limita al Oeste con la República de Chile. Se trata de una cubierta de rocas, producto de la actividad volcánica, iniciada a principios del Terciario Medio. Al presente las unidades diferenciables en la serie volcánica aún no han sido totalmente definidas como unidades formacionales, razón por la cual en los modelos estereoscópicos con este tipo de rocas, se tratará solo de dar algunos nombres formacionales, cuando ello sea posible. Se observan en las laderas terminales de este volcán, coladas recientes de lava. (W)

TIPOS DE VOLCANES Estrato volcán

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La acción erosiva, no ha llegado a destruir algunos rasgos relacionados con las coladas de lavas extruidas, en las que se puede apreciar las características del flujo de las lavas en el momento de su extrusión. De igual manera, el cono volcánico se halla intacto, y cubierto por lavas, de fluidez mediana. Las laderas del volcán, se hallan cubiertas por derrames de lava, que pueden ser identificados, por el diseño lobular y el aspecto digitado que ellas muestran.

GLACIACION Se observan algunos rasgos de glaciación

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales (N)

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO Si

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Radial

TEXTURA DE DRENAJE Media a baja

DENSIDAD DE DRENAJE Baja

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES


N

MODELO ESTEREOSCOPICO 52

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 1258 **FAJA DE VUELO** 2254A

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 10/07/68 **PLAN DE VUELO**

LUGAR DE TOMA Volcán Juriques al W. de Laguna Verde **ELEVACION** 5980 Mts.

PROVINCIA Sud Lípez **COORDENADAS** Lg. 67/47W Lt. 22/51S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SF-19-11 1:100.000: 6025 1:50.000: IV 1:25.000: NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea extrusiva **ALTERACION** Muy fuerte, asociado a yacimientos de azufre

CLASE DE ROCA Dacitas, piroclastos y lavas cuaternarias

EDAD GEOLOGICA Terciario-Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Estrato volcán

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTO :**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

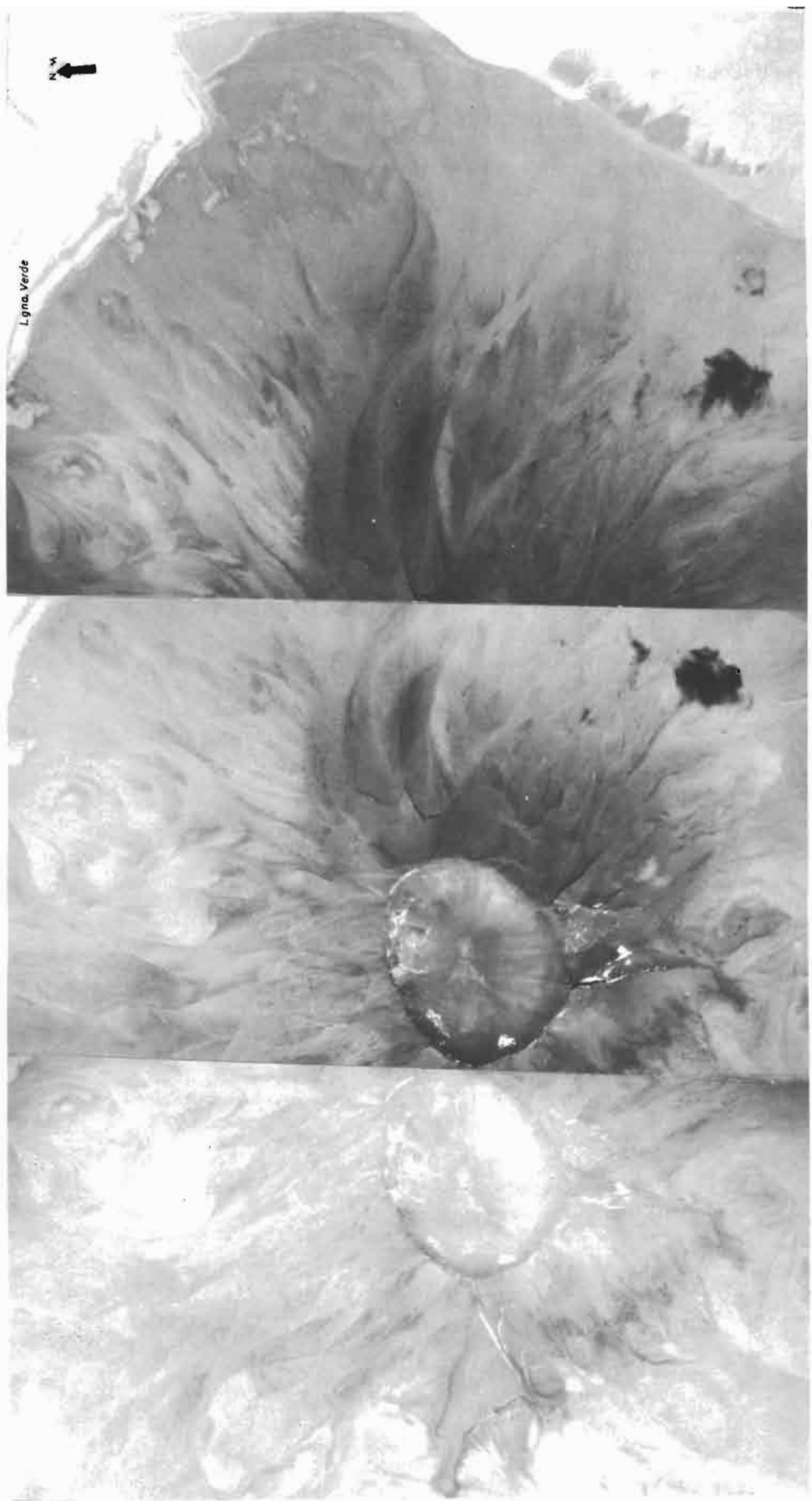
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO Las consideraciones hechas en el modelo 51, son válidas para este modelo.

TIPOS DE VOLCANES Estrato volcán

YACIMIENTOS


Lgna. Verde

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Este cono volcánico, muestra un cráter intacto, de un diámetro aproximado de 2 Km. que aún sigue resistente a los diferentes procesos erosivos.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO Si

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Radial - Centripetal

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Baja

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonal

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 53

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 9106 **FAJA DE VUELO** 20

MISION VUELO 57 **FECHA DE TOMA** 06/24/64 **PLAN DE VUELO** Kusera

LUGAR DE TOMA Cerro Khala Katin **ELEVACION** 5250 Mts.

PROVINCIA Nor Lípez **COORDENADAS** Lg. 67/36W Lt.21/14S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SF-19-7 1:100.000: 6030 1:50.000 : II 1:25.000: NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea extrusiva **ALTERACION** Fuerte alteración

CLASE DE ROCA Dacitas - coladas de Lavas

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Estrato volcán

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO El área presenta las mismas condiciones geológicas que la descrita en el modelo estereoscópico 51.

TIPOS DE VOLCANES Estrato volcán con cono adventicio (U).

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Se trata de un Estrato volcán, en el que es posible apreciar la presencia tanto de niveles de lavas y piroclastos, especialmente en el cráter que ha sido parcialmente destruído tanto por la acción fluvial como la de una incipiente actividad glaciar. De igual manera en la ladera Oeste del Volcán se puede apreciar la presencia de un pequeño cono adventicio o parásito, acompañado de pequeñas coladas de lava.

GLACIACION Se observa en la zona del cráter, algunos efectos de erosión glaciar.

EROSION GLACIAL Si

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Radial

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Baja

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonal

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 54

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 11361 **FAJA DE VUELO** 23

MISION VUELO 71 **FECHA DE TOMA** 08/11/64 **PLAN DE VUELO** Kusera

LUGAR DE TOMA Cerro Inti Pasto - Río Turquiri **ELEVACION** 5426 Mts.

PROVINCIA Nor Lípez **COORDENADAS** Lg.67/54W Lt. 21/22S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SF-19-7 1:100.000: 6029 1:50.000: IV 1:25.000: SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea extrusiva **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Dacita- Piroclastos- Lavas (Ignimbritas)

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Estrato volcán

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTO**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

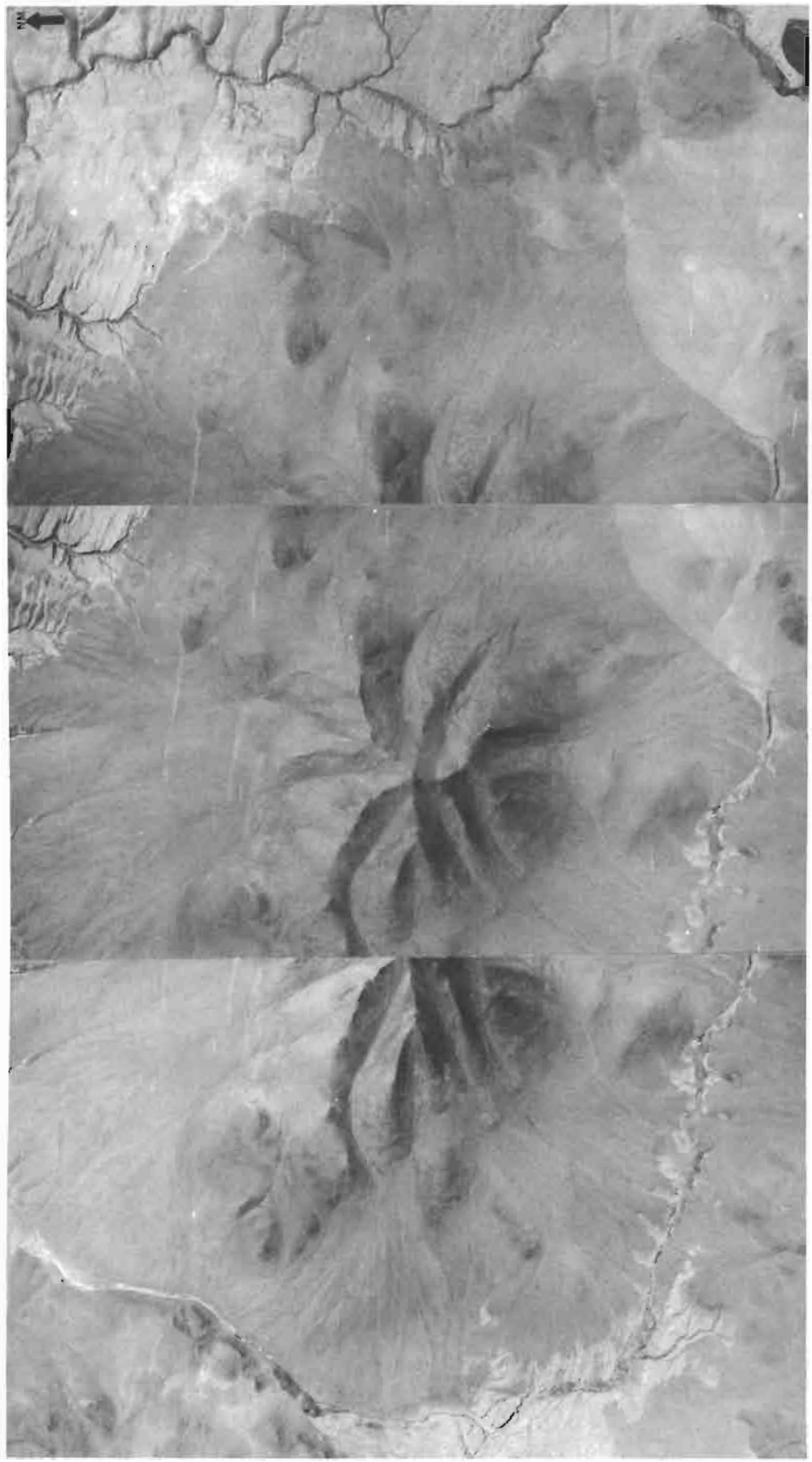
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO Corresponde a las mismas características geológicas del modelo estereoscópico 51.

TIPOS DE VOLCANES Estrato volcán

YACIMIENTOS



CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Esta estructura volcánica en la que no se puede apreciar el cráter del volcán, podría ser también considerado como un Domo volcánico fuertemente erodado. Al presente, en la literatura geológica ha sido mapeado como un cono volcánico, que corresponde a un estrato-volcán en el que se puede apreciar la alternancia de lavas y piroclastos. La ausencia del cráter, se podría explicar porque el nivel de erosión es muy bajo en la estructura volcánica, de manera que por efecto de dicha erosión se halla aflorando el material de la chimenea o conducto del volcán. Al pie de dicha estructura volcánica, subyacente se observan afloramientos de una meseta de ignimbritas, de tonos claros, caracterizada por un diaclasamiento rectangular muy marcado.

GLACIACION Se observan efectos de glaciación muy incipiente.

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO Si

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Radial y rectangular

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS De drenaje

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 55

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 28623 **FAJA DE VUELO** 154

MISION VUELO 167 **FECHA DE TOMA** 11/28/56 **PLAN DE VUELO** Hykon

LUGAR DE TOMA La Paz - Zona Achumani - Irpavi **ELEVACION** 3380 Mts.

PROVINCIA Murillo **COORDENADAS** Lg. 68/05W Lt.16/32S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA La Paz - 5944

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000 SE-19-3 1:100.000 5944 1:50.000 II 1:25.000 NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Arcillas - Conglomerados poco consolidados -Cenoglomerados - Alternancia areniscas y lutitas.

EDAD GEOLOGICA Devónico - Cretácico - Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA La Paz - Purapurani- Torrentes barro

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se trata de una estructura geológica muy complicada, en la que por fallamiento longitudinal inverso debido a alta compresión, se puede observar escamas del Cretácico entre rocas de edad Devónica a lo largo de la serranía de Aranjuez (A), ubicada en la parte central del modelo, orientada en dirección E-W. Sobre estas rocas paleozoicas reposan en discordancia arcillas de la Formación La Paz (Lp). La Formación La Paz, es el basamento sobre el cual se han acumulado depósitos glaciares y fluvioglaciares de edad Cuaternaria. (F. Pura Purani).

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION En algunos sectores de la serranía de Aranjuez (A), y las serranías que encajonan el valle de Mallasa (Mll) se puede observar rasgos de estratificación en la alternancia de areniscas y lutitas del Devónico.

FALLAS GEOLOGICAS La identificación de fallas es muy difícil, debido a la erosión intensa del área. Se observa un lineamiento de orientación NW-SE que pasa por la zona de Alto Obrajes, Aranjuez, Mallasa (E). Otros alineamientos paralelos al anterior se observan en el borde Este del modelo.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA Paleozoico-Terciario-Cuaternario

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La zona constituye uno de los ejemplos más interesantes, relacionados con la evolución de un paisaje, en el que los procesos geomórficos de degradación (Meteorización, remoción en masa, erosión fluvial) son los que actualmente siguen modelando el paisaje. En el modelo se puede diferenciar cuatro unidades morfológicas, con características muy propias: a) La primera unidad corresponde al paisaje desarrollado sobre las rocas sedimentarias del Paleozoico que conforman las serranías de Aranjuez (A) y Mallasa (Mll) asociadas con algunos pequeños deslizamientos, mazamorras. b) La segunda unidad, corresponde al paisaje asociado con los torrentes de barro de Achocalla-Mallasa. En el modelo solo se puede apreciar parte de la cuenca de aprovisionamiento del torrente (Tc1) y la lengua del torrente (TM) que ocupa el actual valle de Mallasa (Mll) y cuya longitud sobrepasa los 20 Km. en los cuales se puede observar una activa erosión, desarrollando un típico paisaje de Badlands o Tierras Malas. En la misma unidad pueden ser consideradas los torrentes de barro de Llojeta (TLL) y el de Cotacota (Tcc). c) La Tercera unidad corresponde a las llanuras aluviales de los ríos Irpavi (I) y Achumani (Ach), Ovejuyo (O), Choqueyapu (Cp) asociadas con el desarrollo de terrazas aluviales en diferentes niveles (H - J - K - M). d) La cuarta unidad corresponde al paisaje desarrollado en las arcillas de la Formación La Paz (Lp) asociadas con una topografía de Badlands, deslizamientos como el de Cupini.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales - Abanicos aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave en arcillas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES Se observa un fuerte alineamiento que puede coincidir con una zona de fallamiento (E-E).


Q
Tac
Tm
Mii

MODELO ESTEREOSCOPICO 56

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 573 **FAJA DE VUELO** 23

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 10/08/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Castilluma - Río Castilluma **ELEVACION** 3490 Mts.

PROVINCIA Chayanta **COORDENADAS** Lg. 66/07W Lt. 18/52S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox.1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6337 1:50.000.-II 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentarias **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Calizas (M) - Arcillas (T y R) - Alternancia areniscas, lutitas (A).

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Silúrico - Cretácico

FORMACION GEOLOGICA Amutara (A) - Cancañiri (C) - Miraflores (M) -Aroifilla. (R) y Tarapaya (T)

ESTRUCTURA GEOLOGICA El modelo muestra uno de los pocos ejemplos en los que es posible apreciar la presencia de dos plegamientos diferentes, que aparentemente tienen la misma orientación, razón por la que puede ser interpretada como una área afectada por un solo plegamiento. Las zonas con afloramientos de rocas de tonos negros a gris oscuros corresponden a rocas de edad Ordovícica y Silúrica (Formaciones Amutara y Cancañiri) presentan pliegues que no corresponden a los pliegues desarrollados en las rocas de tonos claros y grises del Cretácico (Tarapaya-Miraflores-Aroifilla) como el anticlinal (S) con hundimiento al Sur, ubicado al SE del río principal, que se interrumpe en las rocas de tono negro a oscuro que constituyen una estructura homoclinal buzando hacia el Este. Por efecto de la erosión diferencial entre ambos tipos de roca, se puede cometer el error de considerar a todo el conjunto de rocas como parte de un solo pliegue anticlinal. En las rocas de tonos claros a gris claros de edad Cretácica, se observan una serie de pliegues, que corresponden a un anticlinorio, en el que los diferentes pliegues individuales han sido fuertemente afectados por fallas longitudinales regionales que podrían ser clasificadas de bajo ángulo y de sobreescurrimiento. Un ejemplo de este tipo, corresponde al pequeño anticlinal (Z) fallado en su núcleo, muestra estratos volcados (P) y una complicación estructural por efecto de un gran sobreescurrimiento sobre el plano axial de la estructura.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Para la identificación de la estratificación se debe acudir a criterios geomorfológicos, como los escarpes desarrollados en las serranías homoclinales y la manera en la que ellas convergen.

FALLAS GEOLOGICAS La identificación de fallas puede ser realizada si se analizan la presencia de estratos volcados, su posición estratigráfica, el truncamiento, repetición u omisión de estratos.

INVERSAS Si **NORMALES** Si **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS** si

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**


NM

DISCORDANCIA Ordovícico-Silúrico-Cretácico

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Se observa el control que ejerce la roca y la estructura en el paisaje. Serranías homoclinales se desarrollan en calizas. Un relieve más bajo, ondulado y casi uniforme se observa en las arcillas de la formación Aroifilla.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los procesos fluviales han sido importantes en el desarrollo del paisaje, se observan niveles de antiguas terrazas, con modificación del drenaje. Una llanura aluvial reciente, muestra un diseño de drenaje trenzado, característico de condiciones climáticas de semiaridez.

EROSION FLUVIAL Intensa en las arcillas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico en arcillas - Parrilla

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 57

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 05079 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 05/22/60 **PLAN DE VUELO**

LUGAR DE TOMA **ELEVACION** Mts.

PROVINCIA **COORDENADAS**

DEPARTAMENTO **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000 1:100.000 1:50.000 1:25.000 :

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Arenas - arcillas - gravas

EDAD GEOLOGICA Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Morfológicamente corresponde a una gran llanura aluvial, sometida a procesos activos y contínuos de inundaciones periódicas que han provocado modificaciones en el curso meándrico del río principal. Constituye un ejemplo clásico para la identificación de los diferentes tipos de geoformas y depósitos que un río meándrico puede desarrollar, tales como: Meandros abandonados - cicatrices de meandros - lagunas semilunares - Barras de meandros - Bancos de arena y grava - Rellenos de cauces antiguos - Resecciones de cuello y conducto - Depósitos de pantano

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL La acción fluvial es el proceso más importante

EROSION FLUVIAL Terraza

ACUMULACION FLUVIAL Ver subtítulo Geomorfología

LACUSTRE Depósitos lacustres

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Meándrico

TEXTURA DE DRENAJE Media

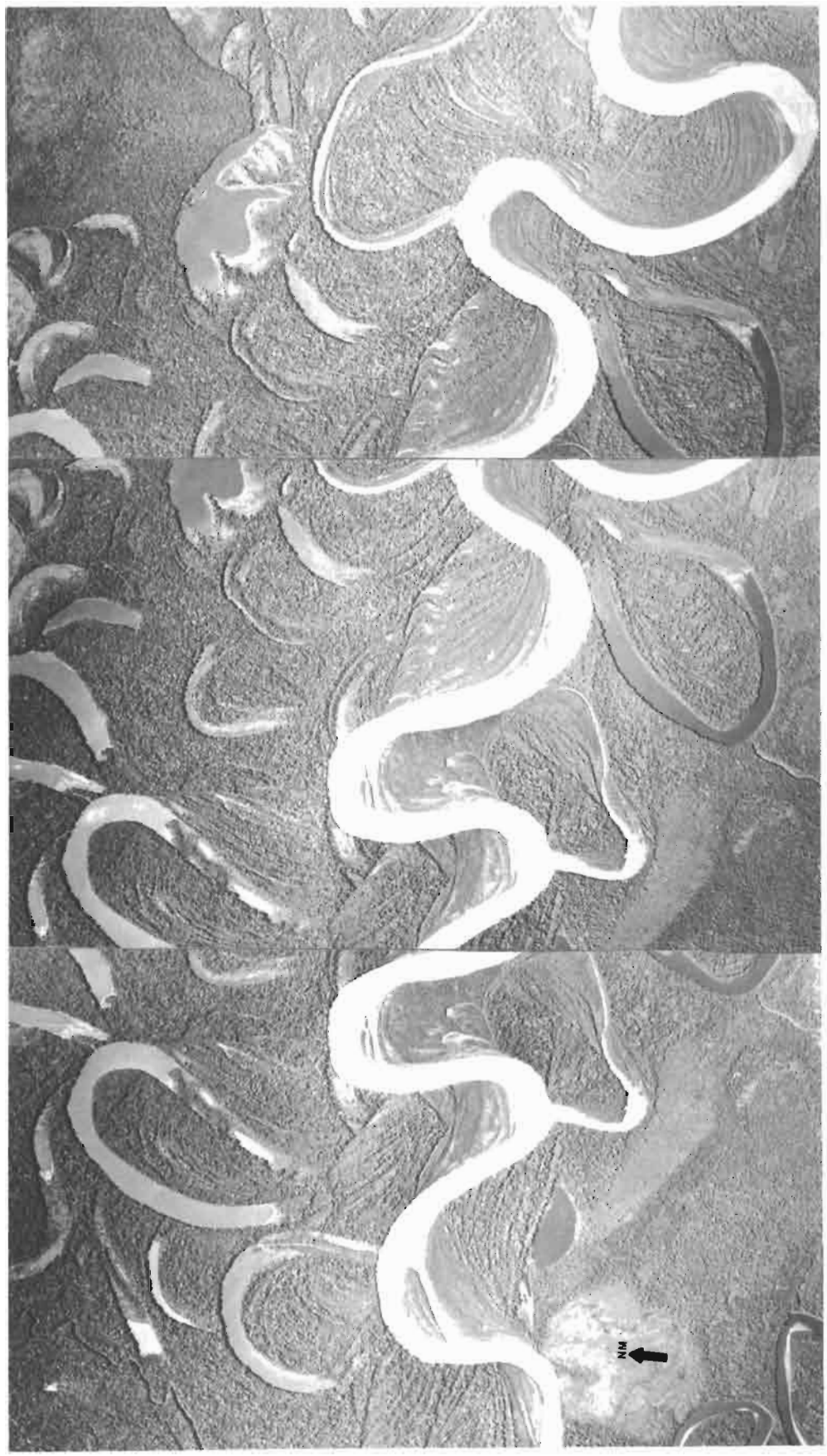
DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO

DISEÑO DE VEGETACION Ajuste a antiguos meandros cicatrices de meandros

OBSERVACIONES


NM

MODELO ESTEREOSCOPICO 58

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 548 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 07/08/75 **PLAN DE VUELO** JICA

LUGAR DE TOMA Ríos Ichilo - Chimoré - Puerto Villarroel **ELEVACION** 350 Mts.

PROVINCIA Carrasco **COORDENADAS** Lg. 64/52W Lt.16/47S

DEPARTAMENTO Cochabamba **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000:SE-20-1 1:100.000: 6643 1:50.000: IV 1:25.000: SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Depósitos recientes (Gravas, arenas, arcillas)

EDAD GEOLOGICA Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA La cubierta vegetal y el espesor de suelos impide la identificación de estructuras.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


R. ICHILO
B
Puente
Villadiego
Poco
Chimoré
NEM

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El modelo constituye un ejemplo muy característico de llanuras aluviales, sometida a procesos activos y contínuos de inundaciones que han provocado una serie de modificaciones en los cursos meándricos de los ríos. Se puede apreciar los diferentes depósitos de la faja de meandros descritos en el texto, como: Albardones naturales - Albardones semilunares - Meandros abandonados - Cicatrices de meandros - Rellenos de cauce antiguo - Lagunas semilunares - Bancos de meandros - Barras de meandros - Depósitos de pantano - Estrangulamiento de meandros. La identificación de las cicatrices de meandros, esta basada en la alineación de la vegetación a las antiguas curvas de los meandros.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Como se indicó anteriormente, los procesos de erosión y acumulación fluvial son los más destacados en el modelo. Se puede apreciar los diferentes depósitos de la faja de meandros y algunos niveles de erosión de los ríos principales.

EROSION FLUVIAL Terrazas aluviales

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales y sus depósitos.

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Meándrico

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Baja

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO

DISEÑO DE VEGETACION Si

ANOMALIAS De drenaje

MODELO ESTEREOSCOPICO 59

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 1006 B **FAJA DE VUELO** 3

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/26/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Tiraque A **ELEVACION** 3120 Mts.

PROVINCIA Arani **COORDENADAS** Lg. 65/44W Lt. 17/25S

DEPARTAMENTO Cochabamba **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SE-20-5 1:100.000: 6441 1:50.000: I 1:25.000: NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Depósitos de Abanicos aluviales - (Gravas-arenas-arcillas)

EDAD GEOLOGICA Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El paisaje corresponde al de un abanico aluvial, de dimensiones muy grandes, que sobrepasan los 16 Km2 de área en la parte que corresponde al modelo.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL La acumulación fluvial, es uno de los procesos más importantes en este modelo. Por el cambio de gradiente del río al pasar de una región montañosa a una de relieve plano, el río deposita su material, dando lugar al desarrollo de depósitos aluviales heterogéneos en textura y composición. Por la forma que adquiere recibe el nombre de abanico aluvial, como el que se observa en el modelo.

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL Abanico aluvial disectado

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dicotómico o distributivo

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Baja

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 60

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3236 **FAJA DE VUELO** 16

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 05/23/74 **PLAN DE VUELO** USAF

LUGAR DE TOMA Sipe Sipe - Quillacollo **ELEVACION** 2650 Mts.

PROVINCIA Quillacollo **COORDENADAS** Lg. 66/23W Lt. 17/23S

DEPARTAMENTO Cochabamba **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:60000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000: SE-18-8 1:100.000: 6341 1:50.000: IW 1:25.000: SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Depósitos de abanicos aluviales - Alternancia areniscas y lutitas - calizas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico- Cretácico sin diferenciar

FORMACION GEOLOGICA Anzaldo

ESTRUCTURA GEOLOGICA Los reducidos afloramientos de roca sedimentaria, no permiten obtener información sobre la estructura.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Algunos rasgos de estratificación, pueden ser observados

FALLAS GEOLOGICAS El alineamiento de varios abanicos aluviales, a lo largo del frente de la cordillera, puede sugerir la presencia de una zona de falla.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

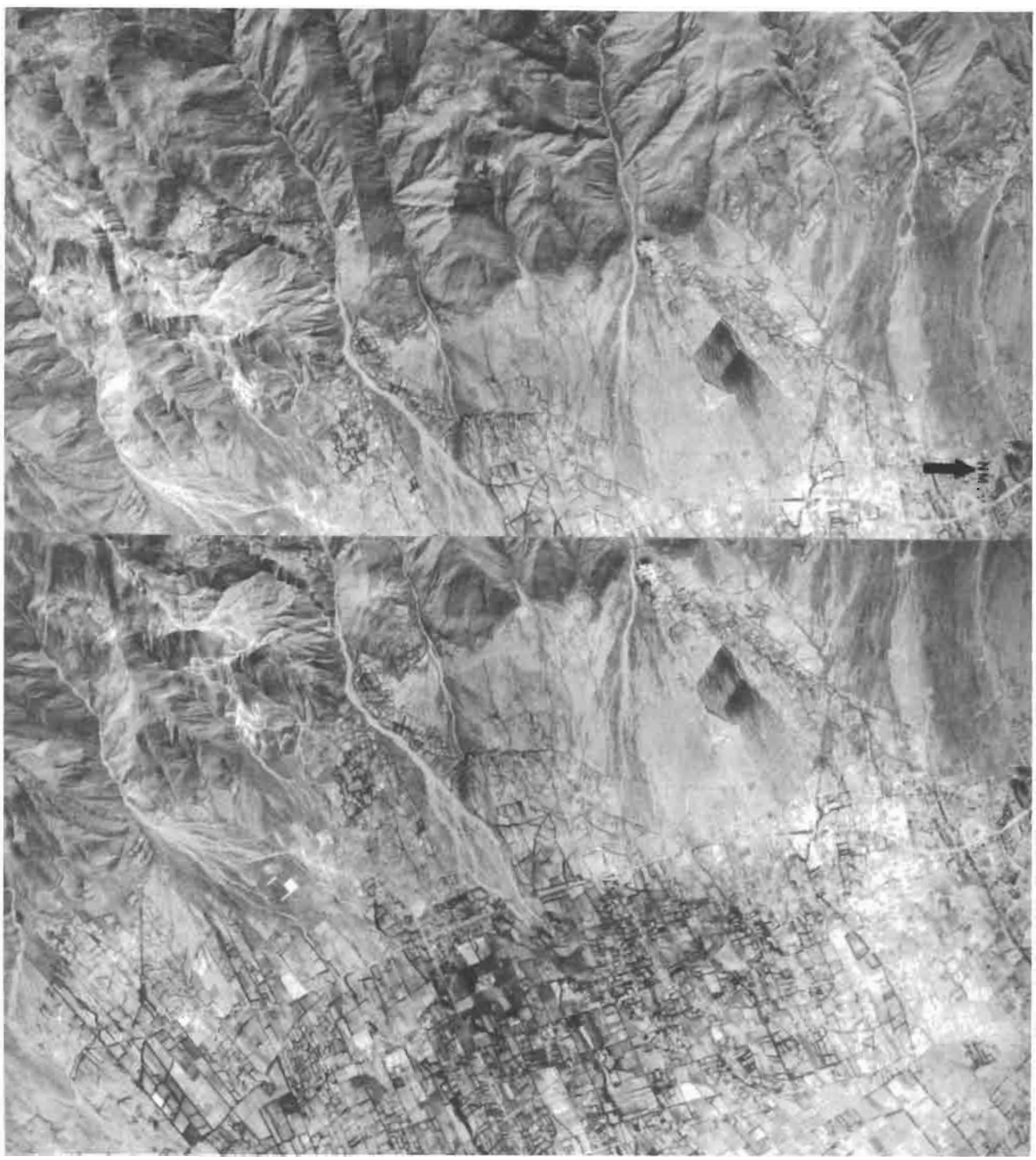
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS



CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El modelo muestra el borde SW de la cuenca de Cochabamba, caracterizada por el desarrollo de abanicos aluviales coalescentes, producidos por los ríos en épocas de crecida, cuando aumentan sus volúmenes de agua, depositando su carga de arrastre en terrenos más bajos y de menor inclinación. La coalescencia de los abanicos aluviales, desarrolla el paisaje de Bajada o Llanura de Piedemonte. Los depósitos asociados a este tipo de formas, son por lo general material muy heterogéneo, con clastos muy variables en diámetros desde pedrones, gravas, arenas, hasta lentes de arcillas y limos. Hacia el borde o parte distal de los abanicos, se hallan depósitos lacustres y fluviolacustres.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL La presencia de abanicos aluviales coalescentes, indica una gran actividad de los ríos, que en este caso muestran gradientes empinadas, que favorecen el rápido desarrollo de este tipo de depósitos.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos aluviales

LACUSTRE Depósitos lacustres

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dicotómico - Centripetal

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Baja

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES .

MODELO ESTEREOSCOPICO 61

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 1835 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/10/53 **PLAN DE VUELO**

LUGAR DE TOMA Estancia Puncun Huyu **ELEVACION** 4080 Mts.

PROVINCIA Los Andes **COORDENADAS** Lg. 68/36W Lt. 16/02S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-3 1:100.000.- 5845 1:50.000.- I 1:25.000.-

NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Depósitos glaciares **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Till - arenas - gravas - arcillas

EDAD GEOLOGICA Cuaternario - Pleistoceno

FORMACION GEOLOGICA Sorata

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS Se observa un alineamiento de segmentos de ríos muy marcados (E) que sugiere fallamiento de edad relativamente muy reciente, ya que los depósitos glaciares y aluviales se hallan afectados por dicho alineamiento.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El paisaje está totalmente modelado por la acción de la glaciación y los posteriores procesos de acción fluvial y remosión en masa. Se observa morrenas laterales bien delineadas, que terminan en la llanura fluvioglaciar.

GLACIACION Los efectos de la acumulación y erosión glaciar son los que predominan en el modelo.

EROSION GLACIAL Valles

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales

FLUVIO GLACIAL Llanuras fluvioglaciares

FLUVIAL En el borde Sur del modelo, los ríos han profundizado sus cursos, desarrollando un nivel muy importante de terrazas.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Pequeñas llanuras aluviales

LACUSTRE Si

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Pinado

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Media a baja

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamiento



MODELO ESTEREOSCOPICO 62

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 12919 **FAJA DE VUELO** 318

MISION VUELO 76 **FECHA DE TOMA** 06/14/55 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Estación Gral. Pando - Caquingora **ELEVACION** 3860 Mts.

PROVINCIA Pacajes **COORDENADAS** Lg. 68/29W Lt. 17/13S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Corocoro - 5942

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-7 1:100.000.- 5942 1:50.000.- III 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Arcillas - Arcillas yesíferas - yesos

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Jalluma - Pando - Ulloma

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS Se puede inferir la presencia de una falla, por el alineamiento (E) ubicado a lo largo de las lagunas, que separa dos tipos de litología. (Yesos de la F. Jalluma (Y) con arcillas de la F. Ulloma (G)

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

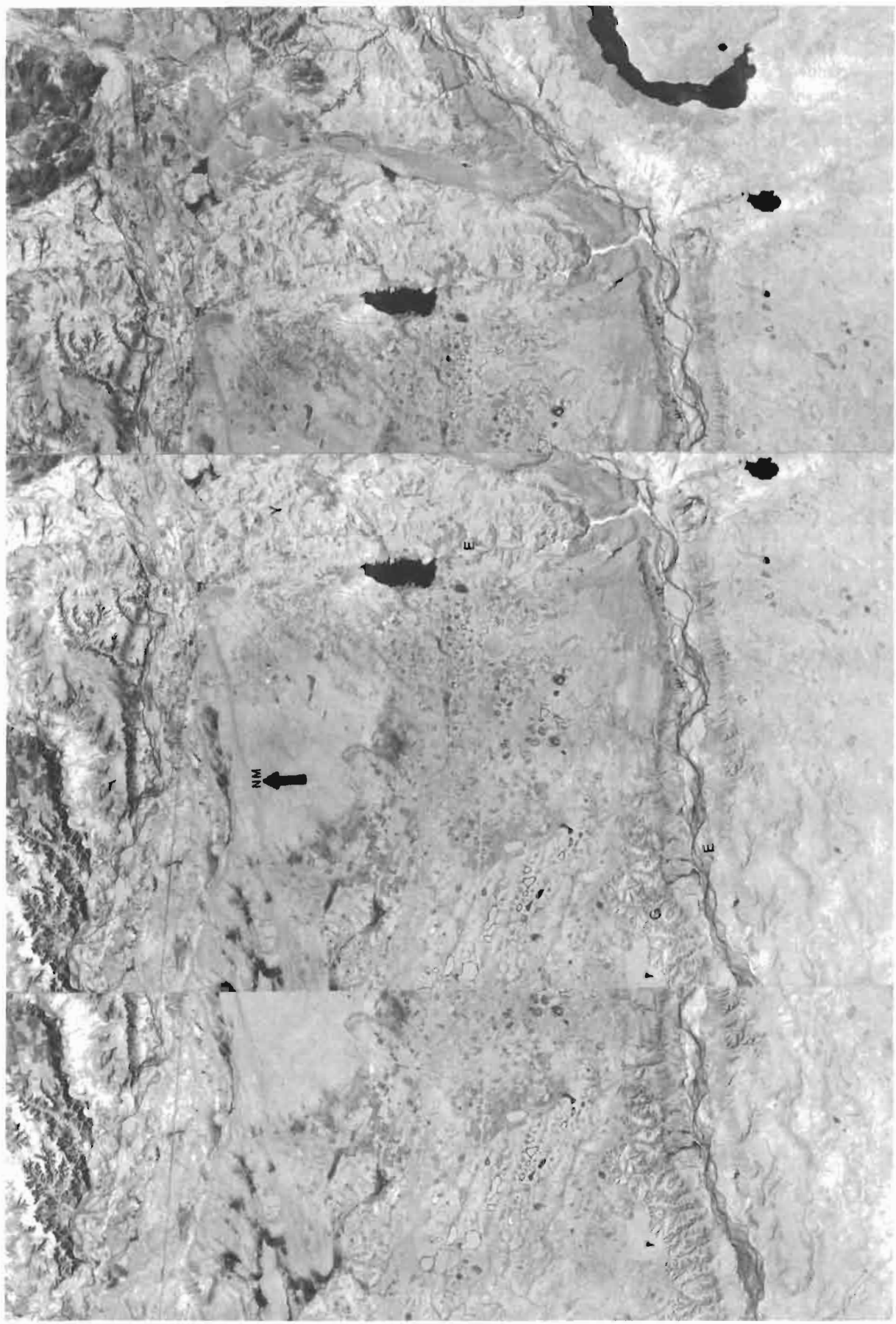
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


E
NM
E

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Los procesos lacustres y fluviales constituyen los procesos más importantes en el desarrollo del paisaje. Se puede apreciar un nivel bien definido de una terraza, cortada sobre arcillas lacustres, sobre cuya superficie se observan la presencia de pequeñas lagunillas o depresiones, que tienen la apariencia de un paisaje asociado a calizas en regiones karsticas. Constituye un ejemplo de Pseudokarts. La causa para el desarrollo de estos rasgos, podría estar asociado con el contenido de yeso en las arcillas.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas aluviales

ACUMULACION FLUVIAL Llanura aluvial

LACUSTRE Si

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Fina a media

DENSIDAD DE DRENAJE Alta a media

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamiento

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 63

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3517 **FAJA DE VUELO** 18

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 11/17/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Catavi - Siglo XX - LLallagua- Uncía **ELEVACION** 4450 Mts.

PROVINCIA Bustillos **COORDENADAS** Lg. 66/35W Lt. 18/25S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40.000

HOJA GEOLOGICA Llallagua - 6238

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6238 1:50.000.- I 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea **ALTERACION** Intensa

CLASE DE ROCA Areniscas (S) - Lutitas - Alternancia arenisca, lutitas - Lavas

EDAD GEOLOGICA Silúrico - Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Cancañiri - Llallagua- Uncía- Catavi- Condo

ESTRUCTURA GEOLOGICA Debido a la presencia de un cuerpo intrusivo a subvolcánico (J), los estratos se hallan disturbados, y la interpretación estructural presenta ciertas complicaciones. El Stock corta una estructura anticlinal, cuyos flancos se hallan volcados y desplazados por fallas transversales (S). En el núcleo de esta estructura anticlinal, se halla el lugar tipo de la formación Cancañiri (C), nombre tomado del indicado lugar. Otra estructura es el anticlinal de Catavi, cuyo núcleo se ubica en dicha población. Entre ambas estructuras se observa una estructura sinclinal, con afloramientos de la Formación Uncía (U), lugar tipo de la esta formación.

ANTICLINAL S i **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION La Formación Llallagua, presenta bancos de areniscas bien marcados, que constituyen estratos conspícuos y guías muy importantes en la interpretación estructural. La identificación del rumbo y buzamiento en las lutitas Uncía presenta dificultades. En la formación Catavi al NE de la misma localidad, es posible la identificación de la estratificación, por tratarse de una alternancia de areniscas y lutitas.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES Stock

VULCANISMO En el extremo Norte del modelo, se observan los últimos afloramientos de las lavas e ignimbritas que

constituyen la Meseta de Morococala.

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El relieve se halla controlado por la estructura geológica.

GLACIACION En el extremo Sur Oeste del modelo, se observan algunos rasgos de glaciación asociadas con las partes más elevadas de la zona.

EROSION GLACIAL Circos

ACUMULACION GLACIAL Incipiente

FLUVIO GLACIAL Depósitos al Este de Uncía

FLUVIAL Los ríos han profundizado sus valles, habiendo dejado varios niveles de Terrazas, siendo los más importantes los ubicados al NW del Modelo (Q)

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Localmente dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Varible

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

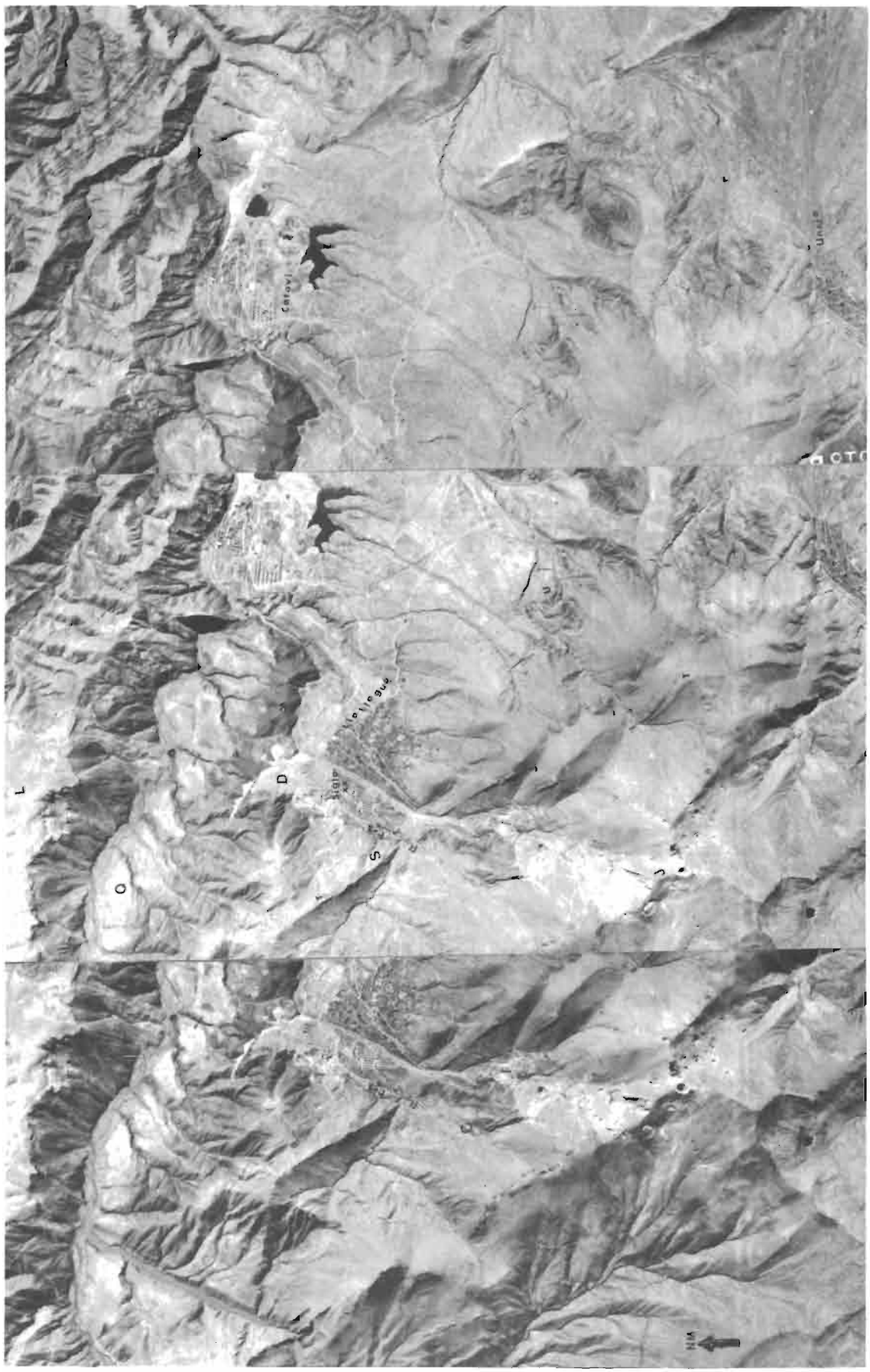
DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspero en Lavas, areniscas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonal y de forma

OBSERVACIONES El modelo muestra un ejemplo muy característico para el registro de los desmontes, acumulados durante años y depositados por andariveles en el sector ubicado con la letra D. El tono muy claro de registro y la forma regular permite su diferenciación de otros depósitos de orígen sedimentario. Al Este de dichos desmontes, se observan afloramientos (M) muy reducidos de rocas de edad Cretácica (F. Condo) constituyendo el núcleo de un sinclinal. El tono fotográfico de registro es gris oscuros, difícil de diferenciarla de la formación subyacente.



MODELO ESTEREOSCOPICO 64

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3519 **FAJA DE VUELO** 18

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 11/19/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Uncía camino Chayanta **ELEVACION** 4424 Mts.

PROVINCIA Bustillos **COORDENADAS** Lg. 66/31W Lt. 18/25S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Llallagua - 6238

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6238 1:50.000.- I 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - Lutitas - Alternancia lutitas, areniscas

EDAD GEOLOGICA Silúrico

FORMACION GEOLOGICA Cancañiri (C) - Llallagua (S) - Uncía (U)

ESTRUCTURA GEOLOGICA Estructura anticlinal fallada.

ANTICLINAL S i **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Estratos conspícuos de la F. Llallagua (areniscas S), constituyen guías para definir la secuencia estratigráfica del área.

FALLAS GEOLOGICAS Convergencia de estratos (Lutitas (U) de la Formación Uncía), alineamiento del río (N) que profundiza su valle en el sector Norte, mientras que en el Sur es divagante, truncamiento de estratos, cambios de litología a ambos lados del río principal, constituyen criterios que permiten aseverar la presencia de una falla longitudinal de alto buzamiento.

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

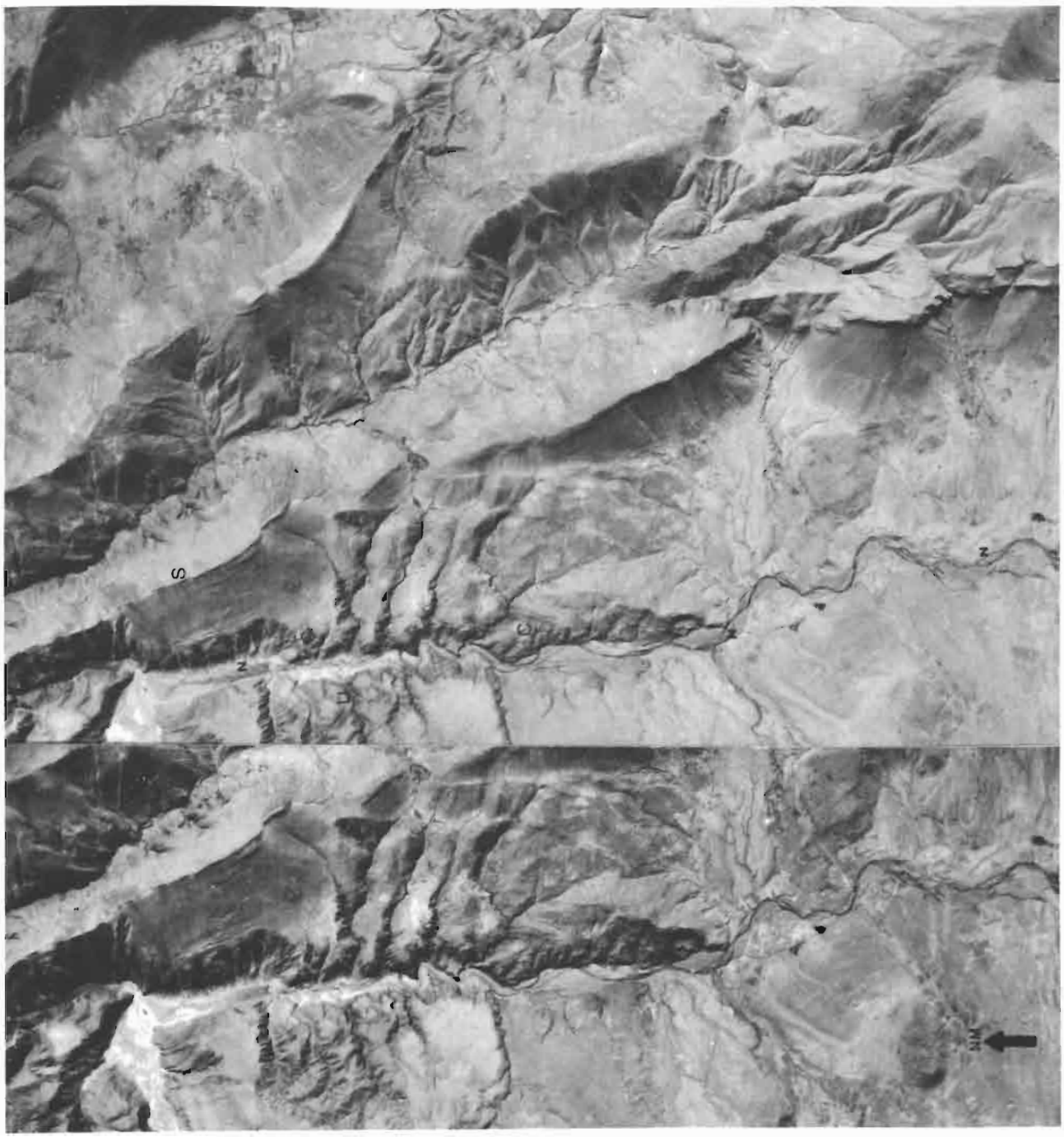
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


S
Z
Z
Z
N

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La zona de falla constituye un control estructural en el desarrollo del paisaje. El río principal se halla ajustado a dicha falla. Se observan rasgos muy erosionados de un escarpe de línea de falla.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Se observan terrazas de erosión pares o cíclicas a lo largo de la zona de falla ya descrita.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanura aluvial

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Variable

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamientos

MODELO ESTEREOSCOPICO 65

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 1194 **FAJA DE VUELO** 173

MISION VUELO 8 **FECHA DE TOMA** 05/21/63 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Camino La Cumbre-Yungas-Rinconada **ELEVACION** 4700 Mts.

PROVINCIA Murillo **COORDENADAS** Lg. 68/02W Lt. 16/19S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-3 1:100.000.- 5945 1:50.000.- II 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea - Metamórfica **ALTERACION** Existe

CLASE DE ROCA Areniscas-Pizarras-Alternancia areniscas, lutitas-Granito

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Silúrico - Triásico - Cuaternario.

FORMACION GEOLOGICA Unduavi- Cancañiri - Llallagua - Uncía

ESTRUCTURA GEOLOGICA A pesar de la intensa erosión tanto glaciar como fluvial, esquistosidad incipiente, diaclasamiento muy marcado, es posible observar en el modelo un secuencia normal que buza hacia el SW, constituyendo una gran estructura homoclinal, cortada en el extremo NW por un cuerpo intrusivo granítico. El sistema de fracturación y diaclasamiento, su densificación, orientación y dimensiones permiten definir los diferentes tipos de rocas que afloran en el área (P,Q,R).

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Los efectos de la glaciación, esquistosidad y diaclasamiento impiden determinar con facilidad el rumbo y buzamiento de los estratos.

FALLAS GEOLOGICAS La zona muestra una serie de lineamientos que pueden corresponder a zonas de fallamiento y diaclasamiento. En el caso de aquellos lineamientos que son contínuos en los diferentes tipos de roca, deben ser considerados con mayor posibilidad como zonas de fallamiento (K)

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** Muy marcado

DISCORDANCIA

INTRUSIONES Composición granítica (G)

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El paisaje es principalmente producto de la acción de los procesos de glaciación.

GLACIACION Los procesos de erosión y acumulación glaciar han participado en forma activa en el modelado del paisaje. Se observa algunos glaciares de circos, caracterizados por sus dimensiones muy pequeñas. Entre las principales formas de erosión se hallan algunos circos, aretes glaciares y la cabecera de un valle glaciar. Los principales depósitos de glaciación son pequeñas morrenas terminales de retroceso (m), ubicadas al pie de algunos pequeños glaciares de circo. Otros depósitos y formas muy comunes en el área son los escombros y conos de Talud (T).

EROSION GLACIAL Circos, aretes, valles

ACUMULACION GLACIAL Morrenas terminales (m)

FLUVIO GLACIAL Depósitos

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo - Angular

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Media a baja

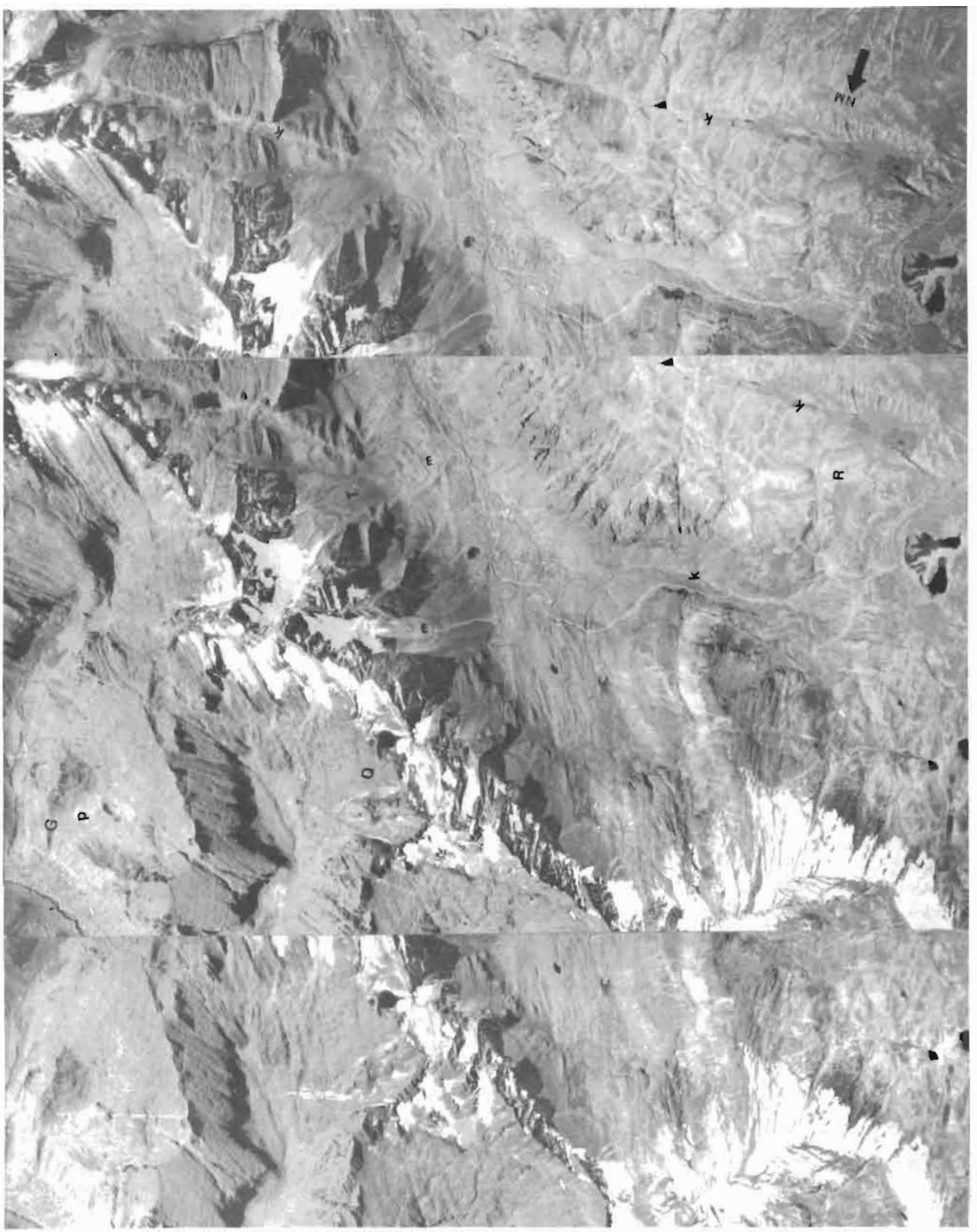
DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamientos

OBSERVACIONES


NM
R
G
P
O

MODELO ESTEREOSCOPICO 66

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 1196 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO 8 **FECHA DE TOMA** 05/21/63 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Norte de Hampaturi-Laguna Ajuan Kota **ELEVACION** 4325 Mts.

PROVINCIA Murillo **COORDENADAS** Lg. 68/01 Lt. 16/23S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:35000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-3 1:100.000.- 5944 1:50.000.- I 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION** Existe

CLASE DE ROCA Areniscas - Alternancia areniscas y lutitas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Silúrico

FORMACION GEOLOGICA Unduavi - Cancañiri - Llallagua - Uncía

ESTRUCTURA GEOLOGICA Estructuralmente corresponde a un gran sinclinal desarrollado sobre areniscas y lutitas de la Formación Uncía.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Los procesos de glaciación, el diaclasamiento y fallamiento, dificultan la identificación de rumbo y buzamiento de los estratos. Sin embargo, al Oeste de las dos lagunas alineadas, es posible observar la estratificación casi horizontal de los estratos.

FALLAS GEOLOGICAS Existe una fuerte y marcada fracturación de las rocas, es posible identificar dos sistemas bien definidos de diaclasas. Los lineamientos que cruzan todo el modelo, pasando a diferentes tipos de litología deben ser consideradas como zonas de fallamiento, como el lineamiento (E) a lo largo del cual se hallan ubicadas dos lagunas. Por la ubicación de estas dos lagunas, que quedan al Norte de la Represa de Hampaturi, que suministra agua a la ciudad de La Paz, puede ser utilizadas como embalses secundarios para la indicada presa.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

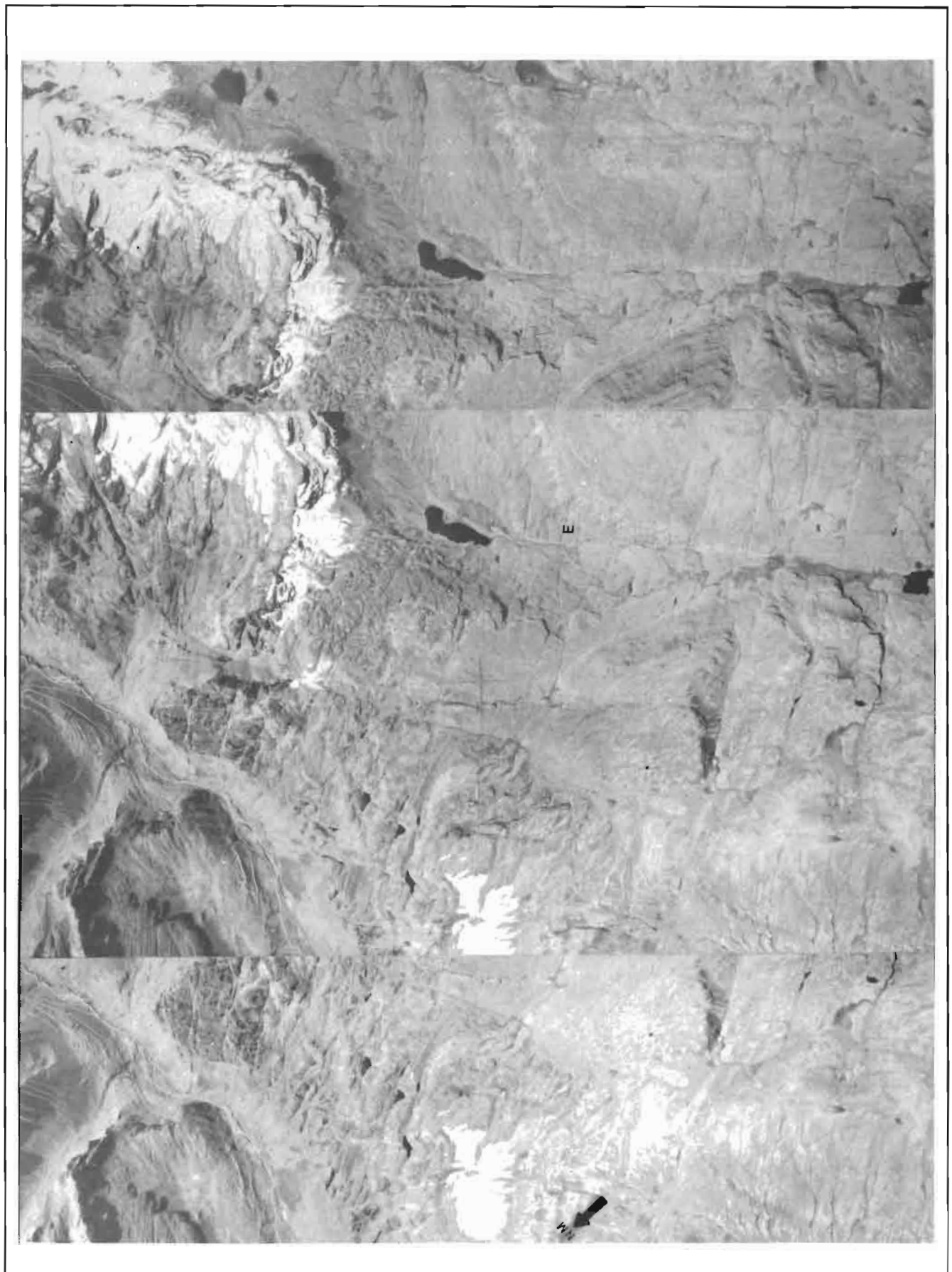
TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** Muy intenso

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO



TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El modelado del paisaje es fundamentalmente producto de la acción de los procesos de glaciación.

GLACIACION Formas de erosión glaciar son comunes en todo el modelo. Las formas de acumulación glaciar (morrenas) sólo se observan en el borde NW del modelo.

EROSION GLACIAL Circos

ACUMULACION GLACIAL Morrenas terminales

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE Si

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Amigdoidal, oval

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamientos

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 67

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 760 **FAJA DE VUELO** 3

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 10/23/75 **PLAN DE VUELO** FAB - SNF

LUGAR DE TOMA La Paz - Liman Pata - Patapatani **ELEVACION** 4250 Mts.

PROVINCIA Murillo **COORDENADAS** Lg. 68/08W Lt. 16/26/S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:17000

HOJA GEOLOGICA La Paz - 5944

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-3 1:100.000.- 5944 1:50.000.- I 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Gravas-Till-Depósitos Fluvioglaciares-Arcillas lacustres

EDAD GEOLOGICA Pleistoceno - Cuaternario reciente

FORMACION GEOLOGICA Purapurani - Kaluyo - Sorata - Choqueyapu

FALLAS GEOLOGICAS El modelo muestra dos deslizamientos complejos de grandes dimensiones. El deslizamiento que límite con el borde del Altiplano, que en el sector se denomina Ceja de Patapatani (S), ubicado en el extremo Oeste del modelo, corresponde a un deslizamiento ocurrido a lo largo de una zona de falla, paralela con el escarpe del deslizamiento, limitada al mismo tiempo por fallas perpendiculares a la anterior que definen el cuerpo del material deslizado. A lo largo de las indicadas fallas algunos ríos han ajustado su curso, como los de las quebradas de Patapatani y Sapani. El segundo deslizamiento de menor dimensión y edad más reciente, se halla ubicada en la ladera opuesta al anterior deslizamiento en el mismo valle, cuyo escarpe de deslizamiento (E), constituye parte del borde de la planicie de Liman Pata.

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El paisaje es de edad muy reciente y es producto de la acción combinada de procesos de glaciación, remoción en masa en especial y acción fluvial. Los criterios utilizados para identificar los dos deslizamientos anteriormente mencionados, se hallan relacionados con las características morfológicas que muestra el área deslizada comparada con la zona circundante. Estas diferencias son mejor apreciadas, cuando la escala del modelo es más pequeña. Si se observa el modelo 110, de escala 1:60000, se puede establecer que el efecto de erosión fluvial a lo largo de los escarpes de la Ceja de Patapatani y planicie de Liman Pata que bordean el valle principal, desarrollan de manera contínua, pequeñas serranías alargadas orientadas hacia el río mayor del área, cuyas crestas son muy estrechas y delgadas y paralelas entre si y corresponden al sistema antiguo de valles orientados en dirección E-W que corresponden al sistema antiguo del drenaje, constituyendo actualmente el sistema de "valle en valle" o "valle de dos pisos" (p) que caracteriza a la cuenca de la ciudad de La Paz y es repetitivo a lo largo de todos los ríos principales que drenan la cuenca de La Paz. Al pie de dichas serranías se observan depósitos de acumulación fluvial, como pequeños abanicos aluviales, bajadas, o terrazas aluviales, que correspondían al sistema antiguo de valles. El único sector, que no muestra las características descritas, es el que corresponde al área de los dos deslizamientos que se observan en este modelo estereoscópico. En el caso del deslizamiento de Patapatani, se observa, que a lo largo de su escarpe de deslizamiento (S), al producirse el movimiento,

se han desplazado en bloque las pequeñas serranías o sistema de valles antiguos a niveles más bajos (N), llegando a bloquear el curso del río principal (Kaluyo) (K), que aguas abajo se denomina Achachicala y luego Choqueyapu. En este deslizamiento se puede diferenciar tres unidades: I) La primera unidad corresponde al borde de la planicie, que es continuación de la Ceja del Alto, llamada Ceja de Patapatani, en la que se observan rasgos de glaciación (G). II) El borde de la primera unidad, se une con la segunda y muestra la zona de desgarre o separación con el bloque desprendido o deslizado (Z). El escarpe de deslizamiento (S) es un rasgo sobresaliente de esta unidad. El relieve de esta unidad se caracteriza por mostrar pendientes con acción reciente de formación de líneas de drenaje. III) Corresponde a la masa deslizada, que muestra características de un relieve original debido a la acción de la glaciación, entre los que podría considerarse los lagos orientados en dirección N-S. Adyacente al sistema de lagos, se hallan los remanentes del antiguo sistema de valles y serranías con orientación E-W. Esta unidad podría haber estado originalmente unida al borde de la ceja de Patapatani, y por alguna reactivación producida por fallamiento, paralelo a la ceja, se formó una zona de debilidad, a lo largo de la cual se produjo el deslizamiento del bloque, dando como resultado final el paisaje actual. El segundo deslizamiento ubicado en la ladera opuesta al descrito, denominado deslizamiento de Liman Pata (L), es más simple, los criterios para su reconocimiento son los mismos que los ya mencionados, pudiendo indicar entre los más importantes a los siguientes: a) Escarpe abrupto de deslizamiento (E) b) Formas corrugadas al borde del deslizamiento. (X) c) Obstrucción del río Kaluyo por la masa deslizada. d) Presencia de lagos debido al mismo deslizamiento

GLACIACION Los procesos de glaciación han participado en el modelado inicial del paisaje.

EROSION GLACIAL Si

ACUMULACION GLACIAL Si

FLUVIO GLACIAL Si

FLUVIAL Los procesos fluviales, han tenido gran preponderancia en el modelado final del paisaje. Uno de los procesos fluviales más importantes ha sido el erosivo, especialmente cuando se produjo el estancamiento de las aguas del río Kaluyo, a consecuencia de los deslizamientos descritos. El río nuevamente profundiza su cauce, desarrollando varios niveles de terrazas (Q), profundizando y cortando el material deslizado. Se puede apreciar en ese sector del río una garganta profunda, para luego ensanchar su valle con desarrollo de una llanura aluvial (H). Otro rasgo importante de la acción fluvial, es el desarrollo del sistema de valles antiguos, denominandos Valle en Valle o Valle de dos pisos. (P)

EROSION FLUVIAL Terrazas - Valle en Valle

ACUMULACION FLUVIAL Llanura aluvial

LACUSTRE Depósitos lacustres

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Media a Baja

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 68

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 21104 **FAJA DE VUELO** 328

MISION VUELO 123 **FECHA DE TOMA** 08/27/55 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Ilata San José - Río Catari **ELEVACION** 3867 Mts.

PROVINCIA Ingavi **COORDENADAS** Lg. 68/23W Lt. 16/41S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-03 1:100.000.- 5944 1:50.000.- III 1:25.000.-

SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Conglomerados, arcillas lacustres, areniscas, dep. aluviales

EDAD GEOLOGICA Devónico - Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Ulloma

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Los conglomerados (C), que afloran en el área, se hallan constituídos por clastos pequeños y uniformes en forma, con gran contenido arcilloso tanto en su matrix como en el cemento. Se hallan muy poco consolidados. Estas características impiden que en la fotografía aérea se pueda apreciar el rumbo y buzamiento de los estratos. En el borde SE del modelo se observa algunos bancos de areniscas bien estratificados, buzando hacia el Este (S).

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES



YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Los procesos fluviales de erosión y deposición combinado con los lacustres, han dado lugar al desarrollo de terrazas, llanuras aluviales, profundización de ríos, acumulación de depósitos aluviales. Las arcillas lacustres de la Formación Ulloma, que afloran en los cortes de las terrazas, muestran en dichas superficies una topografía caracterizada por su horizontalidad asociada a depresiones muy superficiales, que semejan grupos de pequeñas lagunillas, que puede ser considerado como un paisaje de pseudokarst.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales

LACUSTRE Terrazas lacustres

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Meándrico. Dendrítico en conglomerados

TEXTURA DE DRENAJE Variable.

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO Moteado

TEXTURA DE TONO

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Drenaje

OBSERVACIONES Las aguas del Río Catari se infiltran en los depósitos arenosos del mismo lecho del río que en la fotografía se identifica fácilmente por el cambio del tono oscuro de las aguas del río al tono muy claro .

MODELO ESTEREOSCOPICO 69

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 7725 **FAJA DE VUELO** 15

MISION VUELO 49 **FECHA DE TOMA** 06/03/64 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Cerro Pujtin - Al Oeste de Julaca **ELEVACION** 4225 Mts.

PROVINCIA Nor Lípez **COORDENADAS** Lg. 67/43W Lt. 20/54S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SF-19-03 1:100.000.- 6031 1:50.000.- II 1:25.000.-

NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea extrusiva **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Lavas de composición intermedia

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO Por la expresión, podría tratarse de un domo volcánico.

TIPOS DE VOLCANES Domo volcánico

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El área presenta las mismas condiciones geológicas que las que corresponden a la de los modelos 51, 52, 53, 54.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Radial anular

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera a suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS De drenaje

OBSERVACIONES


NM

MODELO ESTEREOSCOPICO 70

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 62 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO 42 **FECHA DE TOMA** 05/04/64 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Tazna - Cerro Tazna **ELEVACION** 5054 Mts.

PROVINCIA Nor Chichas **COORDENADAS** Lg. 66/14W Lt. 20/37S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-4 1:100.000.- 6332 1:50.000.- II 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternancia de areniscas y lutitas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico (Caradociano)

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA Debido a la dificultad en la identificación de rumbos y buzamientos no es posible determinar el tipo de estructura geológica. Sin embargo la fuerte expresión podría sugerir la presencia de un gran cuerpo intrusivo que provoca una deformación en el rumbo de la estructura y un ajuste del relieve y el drenaje a la forma del cuerpo que sobresale en el relieve. Los ríos muestran deflecciones curvas ajustadas a dicha forma.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

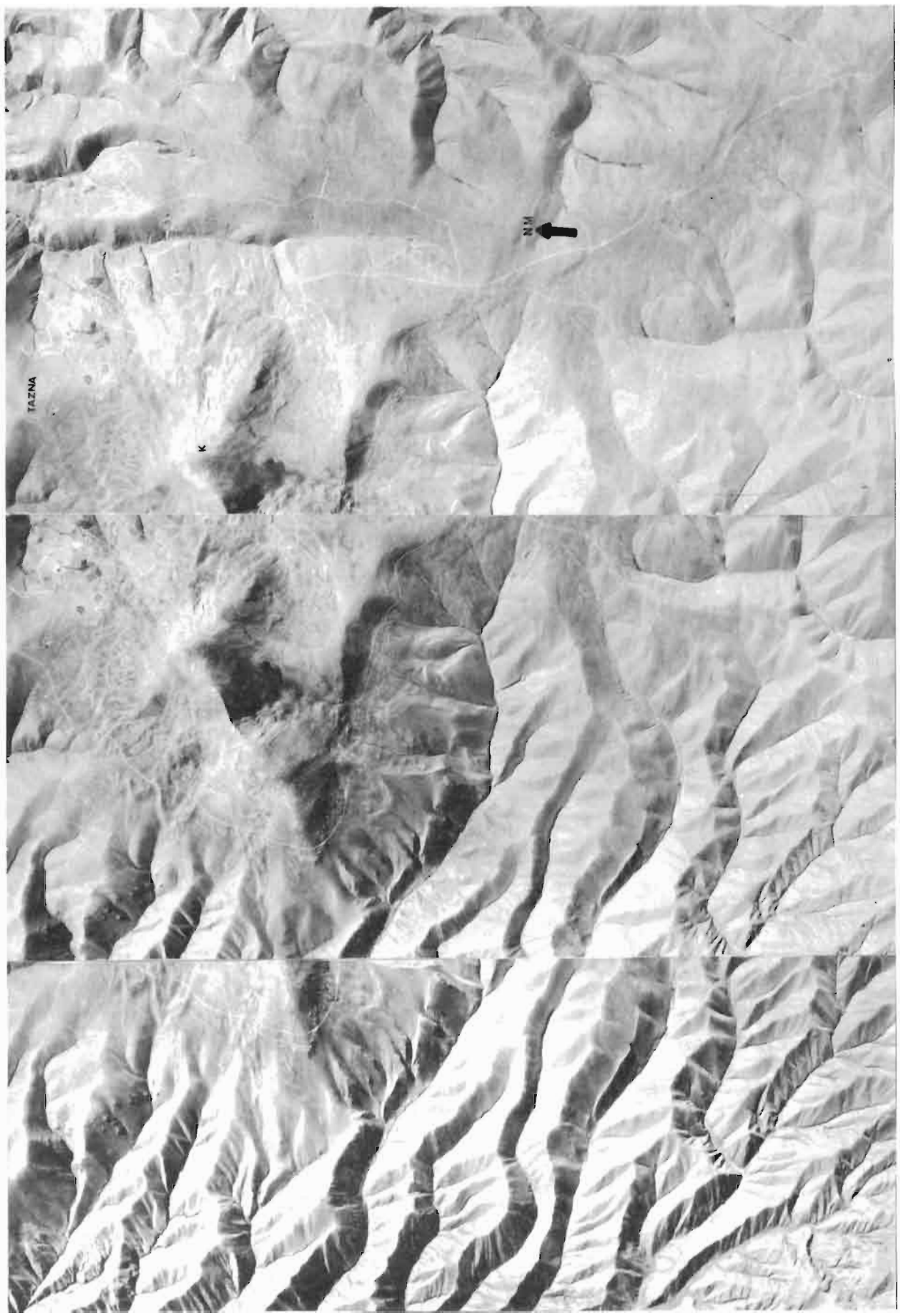
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


TAZNA
K
N

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El modelo tiene por objeto demostrar que algunas anomalías geomórficas de tan fuerte expresión en el relieve (K) pueden ser confundidas con la expresión que presenta un cuerpo intrusivo. Revisión de campo muestra que se trata de rocas de edad Ordovícica, altamente metamorfizadas. Solo estudios de detalle en interior mina o perforaciones de gran profundidad permitirán una explicación lógica a esta anomalía geomórfica.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Radial - Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera en la anomalía

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Forma y drenaje

MODELO ESTEREOSCOPICO 71

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 704 B **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/2/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Cerro Sonaquena- Al NW de Caripuyo **ELEVACION** 4000 Mts.

PROVINCIA Alonso de Ibañez **COORDENADAS** Lg. 68/36W Lt.18/12S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6239 1:50.000.- II 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION** Se observa

CLASE DE ROCA Alternancia areniscas y lutitas - Areniscas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Silúrico

FORMACION GEOLOGICA Amutara - Cancañiri

ESTRUCTURA GEOLOGICA El modelo persigue dos propósitos: a) Mostrar que existen áreas donde la interpretación estructural, no puede ser realizada directamente sobre la fotografía aérea, requiriendo necesariamente la visita al lugar para realizar la obtención de datos geológicos. b) Mostrar otro ejemplo de una anomalía geomórfica, de forma dómica cubierta por material coluvial (Q), en toda su extensión, hallándose al mismo tiempo dividida en parcelas muy regulares. La forma puede sugerir la presencia de un cuerpo intrusivo en profundidad. Debido al material por el que se halla cubierto, constituye un lugar interesante para estudios arqueológicos, por su similitud a los cerro denominados Pucara (Q).

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION En algunos sectores del modelo se observa estratificación muy fina por el diseño de tono bandeado que muestra el registro de las rocas.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES Posible en profundidad

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La anomalía geomórfica de forma dómica, puede sugerir un control de esa forma debido a la presencia de un cuerpo intrusivo en profundidad.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo - Dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Geomórfica



MODELO ESTEREOSCOPICO 72

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 72 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 06/25/63 **PLAN DE VUELO**

LUGAR DE TOMA Chuchiplaya - Río Tipuani **ELEVACION** 1360 Mts.

PROVINCIA Larecaja **COORDENADAS** Lg. 67/56W Lt. 5/27S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SD-19-15 1:100.000.- 6047 1:50.000.-IV 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Conglomerados - Alternancia areniscas - lutitas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Ordovícico no diferenciado, Cangalli

ESTRUCTURA GEOLOGICA En rocas del Ordovícico, se observan repliegues de difícil identificación, casi perpendiculares al río Tipuani.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Difícil de observar. En algunos sectores donde se observan escarpes o taludes muy inclinados orientados perpendicularmente al río Tipuani, el rumbo de la estratificación puede ser determinado por el bandeamiento casi paralelo que muestra la vegetación, al alinearse con la estratificación de las rocas del Ordovícico. Los conglomeradosde edad Miocena se registran en tonos muy claros a blanco (B), ocupan las partes más altas sobre un paleorelieve.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA Ordovícico - Terciario

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES


B
RIO TIPUANI
CHUCHIPLAYA
NW

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El relieve se halla muy disectado y profundizado en rocas del Ordovícico con desarrollo de terrazas en los conglomerados de la F. Cangalli, que se registra en tonos blancos a claros. Se observan remanentes de valle en valle en las partes más elevadas de los afloramientos del conglomerado y remanentes de una superficie de erosión

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los procesos de erosión y acumulación fluvial han sido muy importantes en el área. Han realizado un profundo encajonamiento del río principal, acompañado de una fuerte disección y destrucción de los depósitos aluviales acumulados. Se observa por ese efecto, remanentes de los depósitos acumulados (F. Cangalli) que muestran una topografía muy accidentada, con desarrollo de paredes muy empinadas y escarpes. En algunos sectores, apreciar remanentes del sistema de valles antiguos. (Valle en valle o de dos pisos).

EROSION FLUVIAL Remanentes valle en valle - Terrazas **ACUMULACION FLUVIAL** Importante en ríos principales

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla, dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media **DENSIDAD DE DRENAJE** Media

DISEÑO DE TONO **TEXTURA DE TONO** Aspera

DISEÑO DE VEGETACION Si **ANOMALIAS**

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 73

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3612 B **FAJA DE VUELO** 20

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/17/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Mullipampa - Estancia Porruma **ELEVACION** 4200 Mts.

PROVINCIA Poopó **COORDENADAS** Lg. 66/47W Lt. 18/32S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Llallagua - 6238 - 1:100000

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6238 1:50.000.-III 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas - Lutitas

EDAD GEOLOGICA Silúrico

FORMACION GEOLOGICA Llallagua - Uncía - Catavi

ESTRUCTURA GEOLOGICA Estructura sinclinal, fallada en el núcleo.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION La estratificación en las areniscas de las Formaciones Catavi (R) y Llallagua (L), es observable por el desarrollo de estratos conspicuos y Dip slopes en la F. Catavi cerca al cierre fallado del sinclinal (S). En las lutitas de la F. Uncía (U) es más difícil la identificación de rumbos y buzamientos.

FALLAS GEOLOGICAS El modelo muestra un ejemplo que puede ser utilizado frecuentemente en esa zona para identificar fallas longitudinales que pueden ser interpretadas como inversa de alto ángulo, buzando hacia el Este. Los criterios fotogeológicos para su identificación son los siguientes: a) Solo se observa afloramientos de las areniscas de la F. Catavi (R) en el flanco Este del sinclinal. b) En el borde Sur del modelo, se ve que el cierre sinclinal (S) de los estratos de la F. Catavi se hallan truncados. El río principal se halla ajustado a esa linea de truncamiento. c)Se observa que las lutitas de la F. Uncía (U) del flanco Oeste del sinclinal, se apoyan directamente sobre las areniscas Catavi del flanco Este. d) El río principal muestra un alineamiento a lo largo de la zona de fallamiento.

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO** Si

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El paisaje muestra en primer instancia un control en su modelado debido a la estructura y litología. Posteriormente los procesos de glaciación han participado en el modelado del relieve. En algunos lugares los efectos de erosión y acumulación glaciar han enmascarado la estratificación y la litología (M), especialmente a la Formación Uncía.

GLACIACION

EROSION GLACIAL Importante

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales (M)

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los procesos fluviales de erosión y acumulación siguen modificando el actual relieve.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanura aluvial

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Regionalmente parrilla- Localmente dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

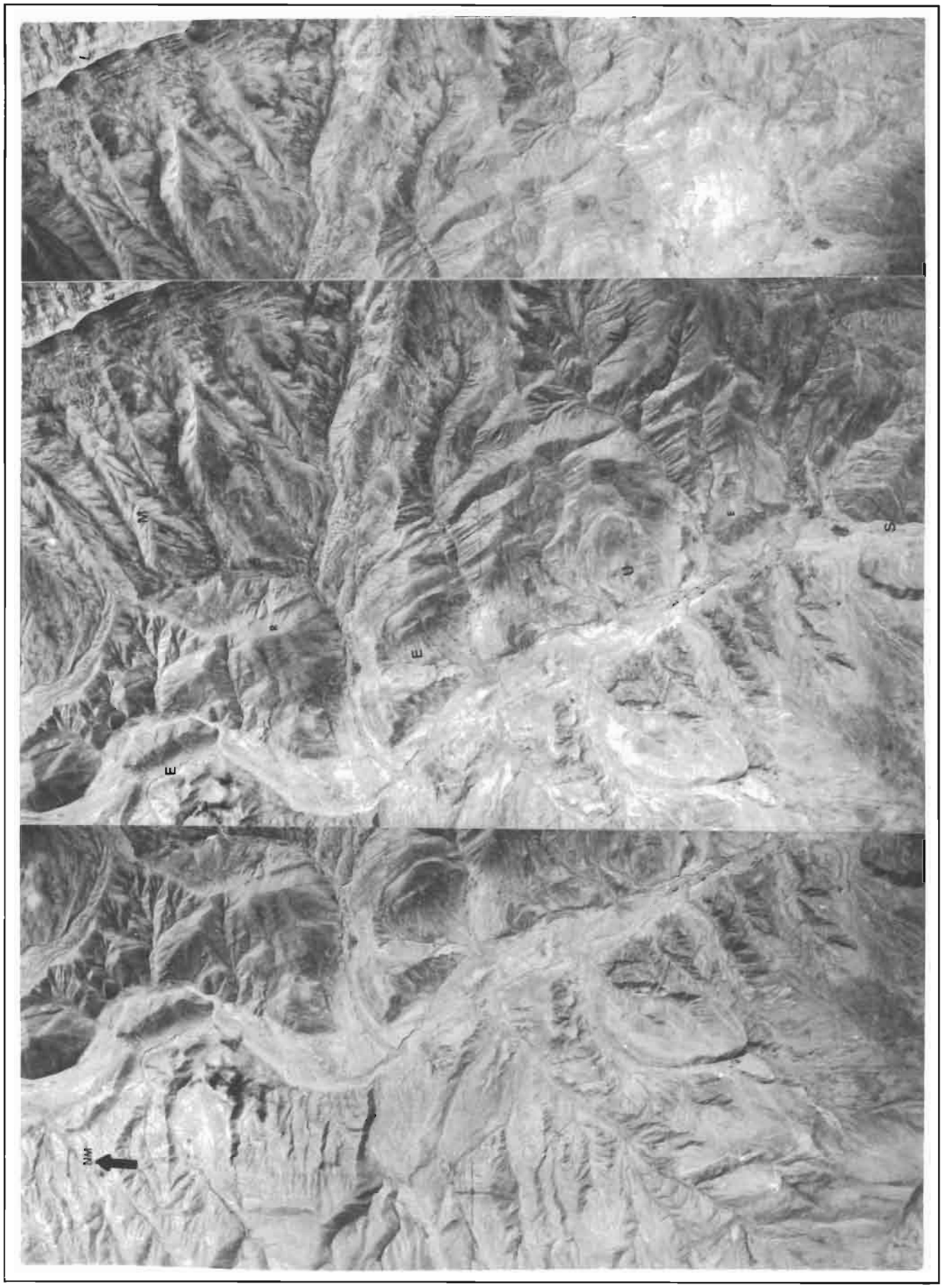
DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS De drenaje

OBSERVACIONES


M
E
E
S
Mr

MODELO ESTEREOSCOPICO 74

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 1008 **FAJA DE VUELO** 1

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 10/23/75 **PLAN DE VUELO** FAB - SNF

LUGAR DE TOMA Serranía Cuchilla - Chuquiaguillo **ELEVACION** 4000 Mts.

PROVINCIA Murillo **COORDENADAS** Lg. 68/06W Lt. 16/28S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:17000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-3 1:100.000.- 5944 1:50.000.- I 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Conglomerado - arcillas

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA La Paz - Purapurani

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


T
T
T
T
N

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA En el modelo se observa un ejemplo típico del desarrollo actual de un sistema de valles (S) produndizando y modificando el sistema anterior de valles antiguos, desarrollando un paisaje asociado con valle en valle o valles de dos pisos (T). Ello sugiere que el área ha sido sometido a un proceso de rejuvenecimiento. El sistema antiguo de valles en su perfil transversales muestra evidencias de la acción combinada de glaciación y fluvial. Pueden también ser considerados como valles colgantes. El sistema actual del drenaje, esta provocando erosión retrogada en los sistemas de valles antiguos y al mismo tiempo los va profundizando, de manera que es posible observar afloramientos completos de los conglomerados poco consolidados de la Formación Purapurani,(P) que anteriormente se hallaban cubiertos por los depósitos correspondientes al sistema de valles antiguos.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los procesos de erosión debido a la acción de los ríos, son muy intensos. La erosión retrocedente en las cabeceras del actual sistema de valles es muy intenso. Otro proceso importante es la profundización activa de los valles actuales. (Quebrada Katrani)

EROSION FLUVIAL Valle en valle - Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera en conglomerados

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 75

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 28687 **FAJA DE VUELO** 154

MISION VUELO 167 **FECHA DE TOMA** 05/28/56 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Milluni-Laguna Zongo-Huayna Potosí **ELEVACION** 6088 Mts.

PROVINCIA Murillo **COORDENADAS** Lg. 68/09W Lt. 16/19S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA Milluni

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-03 1:100.000.- 5945 1:50.000.-II 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentarias - Ignea intrusiva **ALTERACION** Se observa

CLASE DE ROCA Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas - Granito

EDAD GEOLOGICA Ordovícico no diferenciado, Silúrico, Triasico-Jurácico

FORMACION GEOLOGICA Cancañiri, Llallagua, Uncía, Catavi

ESTRUCTURA GEOLOGICA Debido a los procesos de glaciación, la identificación de estructuras plegadas no es sencilla. Se observa una estructura sinclinal, con núcleo en areniscas de la Formación Catavi (C).

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Difícil de identificar por hallarse enmascarada debido a efectos de glaciación. Sin embargo en los bancos de areniscas de la Formación Catavi (C) en los sectores donde ellas constituyen por efectos de la erosión glaciar paredes de circos erosionados o aretes, es posible observar rasgos de estratificación. De igual manera en la partes que corresponden a la contrahuella (K) de las escaleras glaciares del valle glaciar, es posible la identificación de rumbos y buzamientos en las areniscas de las Formaciones Llallagua, Cancañiri y Ordovícico. De acuerdo a la secuencia estratigráfica es posible inferir que algunos estratos se hallan volcados. Las rocas del Ordovícico (O) se hallan bien estratificadas y diaclasadas. Las lutitas de la Formación Uncía (U), se hallan enmascaradas por la acción de la glaciación, sin embargo pueden identificarse por la expresión morfológica más suave que presente, además de una textura suave de tono.

FALLAS GEOLOGICAS Algunos lineamientos que se observan en la foto pueden corresponder a zonas de fallamiento (F). El diaclasamiento en las rocas aflorantes, puede ser utilizado para diferenciarlas entre si. El granito (G) presenta un diaclasamiento caótico, muy denso, y diferente al de las rocas del Ordovícico, cuyo diaclasamiento es en dos direcciones casi perpendiculares entre si (O). Estas rocas muestran algo de metamorfismo regional.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO** Si

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** En areniscas y roca ígnea caótico y fino

DISCORDANCIA

INTRUSIONES Batolito

YACIMIENTOS Milluni ha sido uno de los yacimientos más importantes de Estaño y Zn. En el modelo se puede apreciar el trabajo a tajo abierto realizado sobre la veta Rothschild (S) ya agotada, que corta areniscas de la Formación Catavi.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La zona se encuentra fuertemente afectada por procesos de glaciación. Se observan formas típicas de erosión y deposición glaciar. Entre las formas de deposición se observan morrenas laterales (L), terminales (T) y de fondo (F). El cerro Huayna Potosí muestra procesos glaciales actuales como pequeños glaciares (Z), algunos de ellos en estado de retroceso (R), dejando como evidencia pequeñas morrenas laterales y terminales (mt). Otro proceso importante aparte del fluvial, es el de la meteorización fisica, que acompañado del efecto de la gravedad han dado lugar a la formación de sallerios, escombros de talud, conos de talud, ubicadas en las ladera de las serranías.(W)

GLACIACION Glaciación de montaña. - Se observa un típico ejemplo de un valle glaciar en el que se puede identificar las escaleras glaciares con sus partes componentes huella (h), contra huella (K), mamperlan (m), lagos en rosario (Q). Valles colgantes (Vc) afluentes, atacados por procesos fluviales actuales se observan en el margen Oeste del valle principal. Los efectos de glaciación son tan marcados que dificultan la identificación de las caracteristicas geológicas en la foto.

EROSION GLACIAL Circos, valles, aretes

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales, terminales, de fondo

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los procesos fluviales, estan modificando el relieve glaciar original, se puede apreciar algunos abanicos aluviales de reciente formación (Y), Los valles glaciares estan siendo profundizados por la acción erosiva de los ríos actuales, con el consiguiente desarrollo de terrazas aluviales.

EROSION FLUVIAL Activa

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos y depósitos aluviales

LACUSTRE Depósitos lacustres

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

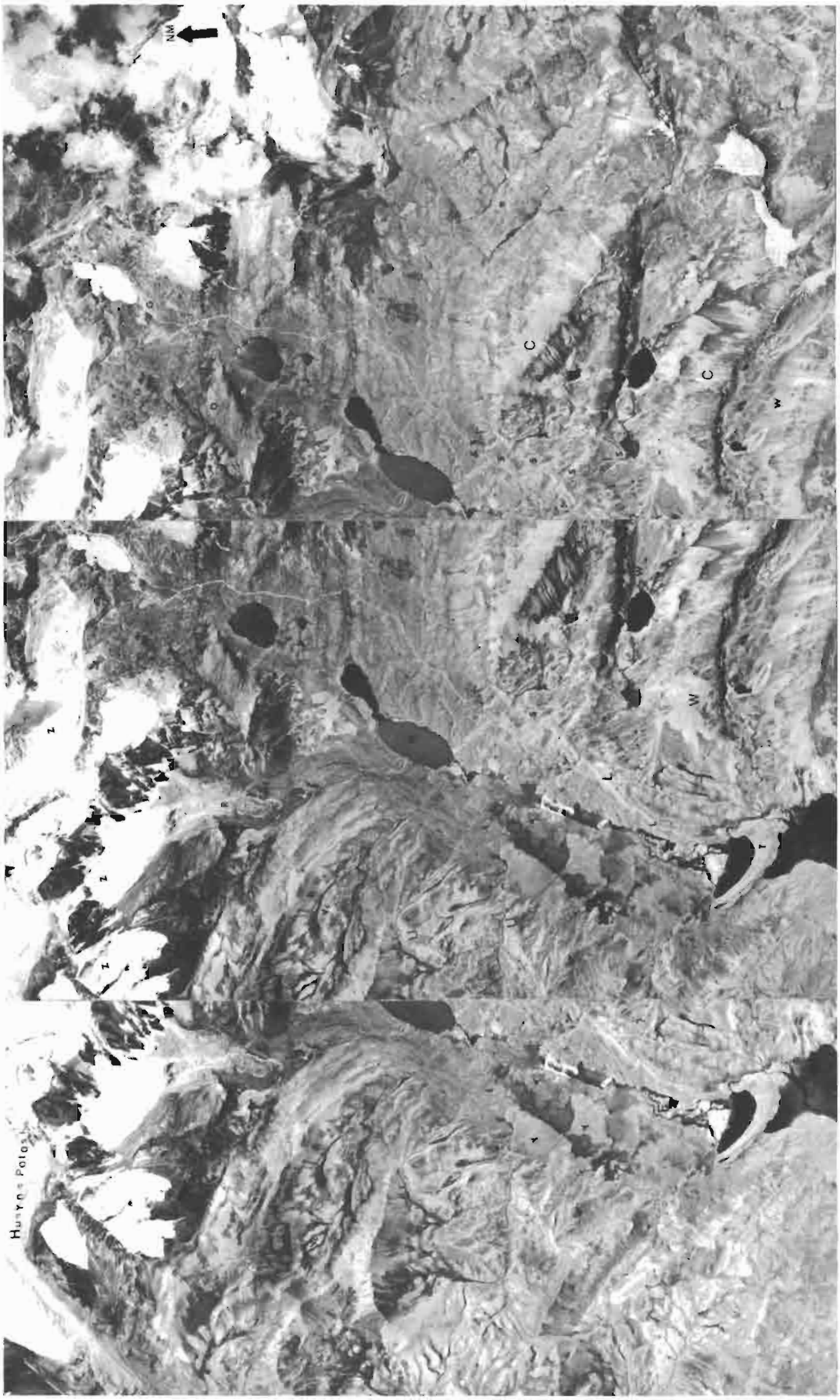
DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamientos

OBSERVACIONES El cuerpo intrusivo ubicado en la parte Norte de la foto puede ser fácilmente identificado por las diferencias en el diaclasamiento y ausencia de la estratificación.


NM
C
C
W
W
L

MODELO ESTEREOSCOPICO 76

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 28353 **FAJA DE VUELO** 336

MISION VUELO 165 **FECHA DE TOMA** 05/20/56 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Achura-Lg. Chaco Kota-Cerro Matilde **ELEVACION** 4700 Mts.

PROVINCIA Murillo **COORDENADAS** Lg. 68/02W Lt. 16/15S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-03 1:100.000.- 5945 1:50.000.-II 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea intrusiva - Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Granito - Areniscas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico, Triásico-Jurácico

FORMACION GEOLOGICA Unduavi

ESTRUCTURA GEOLOGICA El modelo muestra gran parte del afloramiento del batolito de Chucura de composición granítica (G). (Triásico-Jurácico)

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Afloramientos de rocas sedimentarias, sólo se puede observar en el borde NE del modelo estereoscópico.

FALLAS GEOLOGICAS La roca se halla fuertemente diaclasada, en más de dos direcciones. Existen una orientación de fracturas de longitudes mayores a las diaclasas, que muestran un espaciamiento paralelo entre si con separaciones mayor a los 300 metros y orientados en dirección NW-SE.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO** Muy marcado, caótico

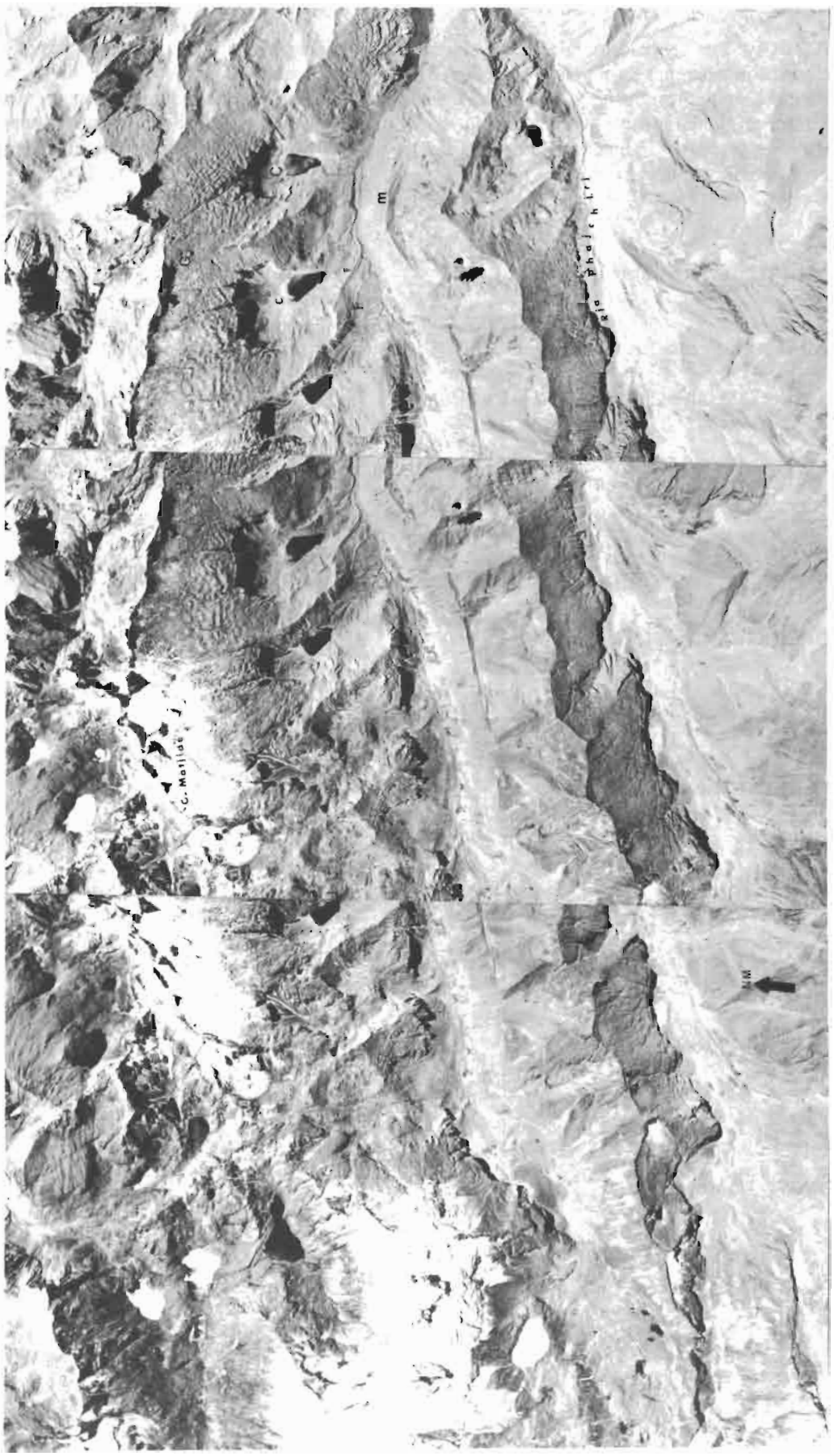
DISCORDANCIA

INTRUSIONES Batolito Chucura

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


C. Matías
N

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Los procesos de glaciación han modelado el relieve actual. Se observan pequeños glaciares de circo (C), asociados con morrenas terminales y laterales (F) de reducidas dimensiones, cuyas posiciones muestran etapas de retroceso de estos pequeños glaciares. En el valle glaciar principal se observan algunos remanentes de morrenas laterales (m). La acción glaciar erosiva también ha dado lugar a muchas formas de erosión, principalmente circos y lagos Tarn, aristas glaciares o aretes. De igual manera la expresión rugosa de la superficie de la roca, sugiere la presencia de una erosión muy fuerte de su superficie.

GLACIACION

EROSION GLACIAL Circos y Tarns

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales, terminales y de fondo

FLUVIO GLACIAL Si

FLUVIAL Los procesos fluviales recientes se hallan profundizando los valles glaciares, desarrollando terrazas aluviales.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanura aluvial

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media a baja

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 77

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 771 **FAJA DE VUELO** 4

MISION VUELO 8 **FECHA DE TOMA** 05/07/75 **PLAN DE VUELO** BOL-IGM

LUGAR DE TOMA Cordillera Tunari-Cochabamba **ELEVACION** 4500 Mts.

PROVINCIA Chapáre **COORDENADAS** Lg. 66/16W Lt 17/17S

DEPARTAMENTO Cochabamba **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-8 1:100.000.- 6342 1:50.000.- III 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

IPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico

FORMACION GEOLOGICA Capinota - Cuchupunata (Anzaldo) - San Benito

ESTRUCTURA GEOLOGICA La erosión glaciar, el diaclasamiento y la fracturación intensa dificultan la interpretación estructural. Los estratos se hallan muy disturbados. Se infiere la presencia de estructuras plegadas y falladas, que necesariamente requieren de trabajo de campo.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION La estratificación se halla enmascarada por los efectos de glaciación. Solo en el sector NE es posible observar algo de estratificación en las areniscas. La estratificación puede ser confundida con la dirección de diaclasamiento de las rocas.

FALLAS GEOLOGICAS Si se analiza en detalle la distribución de las rocas, es posible inferir algunas zonas de fallas.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Muy diaclasada en 2 direcciones

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El modelado del paisaje y la expresión morfológica actual es producto de los procesos de glaciación que afectaron al área.

GLACIACION Las formas de glaciación de montaña más importantes que se observan en el modelo son las debidas a procesos de erosión, siendo los circos glaciares, lagos Tarn y aristas o aretes glaciares los más comunes. Existen algunos remanentes de formas de acumulación glaciar como pequeñas morrenas laterales.

EROSION GLACIAL Circos- aretes

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales

FLUVIO GLACIAL Si

FLUVIAL La acción fluvial se halla modificando el actual relieve. En el borde NE del modelo se observa que la acción fluvial es más importante, corresponde a la zona donde las condiciones climáticas empiezan a cambiar, se observa que la vegetación empieza a ser exuberante y cubre las laderas Este del relieve montañoso. Se nota la preponderancia de los procesos fluviales sobre los de glaciación.

EROSION FLUVIAL Si

ACUMULACION FLUVIAL si

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Media a gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 78

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 250 **FAJA DE VUELO** 4

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 07/20/75 **PLAN DE VUELO** BOL-IGM

LUGAR DE TOMA Comunidad Koari, Laguna Totora khocha **ELEVACION** 4200 Mts.

PROVINCIA Arani **COORDENADAS** Lg. 65/37W Lt. 17/26S

DEPARTAMENTO Cochabamba **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-5 1:100.000.- 6441 1:50.000.- I 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - Lutitas - Alternancia areniscas, lutitas - Till

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Cuchupunata (Anzaldo) - San Benito

ESTRUCTURA GEOLOGICA Por los reducidos afloramientos de la roca, los depósitos glaciares que las cubren, las formas de erosión glaciar que las afectan, el diaclasamiento que puede ser confundido por la estratificación y la intensa deformación de las rocas, no es posible identificar en el modelo estructuras plegadas que sean contínuas.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION La identificación de la estratificación en las areniscas no es muy sencilla, por existir un diaclasamiento y fracturación que puede confundirse con la estratificación además de la erosión glaciar que al modelar circos y aretes glaciares en estas rocas, enmascaran los rasgos originales de la estratificación. En el sector Sur, donde afloran lutitas que alternan con algunos bancos de arenisca, tampoco es posible observar estratificación debido a los cubierta de depósitos glaciares y recientes, a los procesos de lavado de manto que tienden a suavisar el relieve y a las características mismas de este tipo de roca.

FALLAS GEOLOGICAS Los ríos principales pueden sugerir la presencia de fallas, si además se consideran algunos criterios relacionados con truncamiento y convergencia de estratos.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Muy importante en areniscas

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO


G
S
E
E
NW

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El modelo muestra un ejemplo en el que se puede apreciar los límites entre un paisaje que es producto de la glaciación (G) y el de un paisaje donde la influencia de la glaciación es menor siendo más importante la de acción fluvial (S). En la parte central del modelo se observan algunos procesos de remoción en masa, que afectan a algunas morrenas laterales, como el ubicado en D.

GLACIACION Se observa una gran cantidad de pequeños circos glaciares, valles glaciares, morrenas laterales y terminales. En muchos sectores es posible inferir las etapas de retroceso que han sufrido algunos de esos pequeños glaciares, por las varias posiciones que toman las morrenas laterales (m).

EROSION GLACIAL Circos - valles

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales, terminales

FLUVIO GLACIAL Si

FLUVIAL Los ríos se hallan profundizando el sistema de valles, con la consiguiente formación de terrazas aluviales.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales, abanicos aluviales

LACUSTRE Si

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 79

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 2702 B **FAJA DE VUELO** 38

MISION VUELO 27 **FECHA DE TOMA** 09/01/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Ciudad de Potosí - Cerro Rico **ELEVACION** 4050 Mts.

PROVINCIA Tomás Frias **COORDENADAS** Lg. 65/44W Lt. 19/35S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA Potosí - 6435

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-13 1:100.000.- 6435 1:50.000.-II 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea **ALTERACION** Muy intensa (W)

CLASE DE ROCA Conglomerados, brecha volcánica, areniscas, lavas, tobas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico sin diferenciar - Terciario -Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Mondragon - San Roque - Cantería - Caracoles

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Se observa estratificación en la alternancia de areniscas y lutitas del Ordovícico en el borde oeste del modelo.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES Stock

VULCANISMO La actividad volcánica ha dado lugar a varias derrames de lavas, tobas que se hallan interestratificadas con areniscas, conglomerados, que en el área han sido designadas con varios nombres formacionales, como Mondragon, San Roque, Agua Dulce, Cantería.

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS El Cerro Rico de Potosí, ha sido uno de los yacimientos más ricos de Plata. En la actualidad se explota algo de Plata y Estaño.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La estructura controla la expresión morfológica. El Cerro Rico de Potosí, por la forma dómica y aislada que muestra puede ser interpretado en la foto aérea como un pequeño cuerpo ígneo complejo que puede corresponder a un Stock o a un domo volcánico. Es necesario trabajo de campo para poder establecer si se trata de un stock o un domo volcánico, ya que en este caso especial, no es posible visualizar la relación que existe entre las rocas sedimentarias y el borde Oeste del cuerpo ígneo. En el borde Este se puede observar algunas formas debida a la acción de la glaciación.

GLACIACION En el Sector Este (M) del modelo se observa las partes terminales de algunas morrenas laterales producto de la glaciación ocurrida en la serrania del Kari Kari.

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales

FLUVIO GLACIAL Depósitos fluvioglaciares

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos aluviales

LACUSTRE Si

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Radial - dendrítico -

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

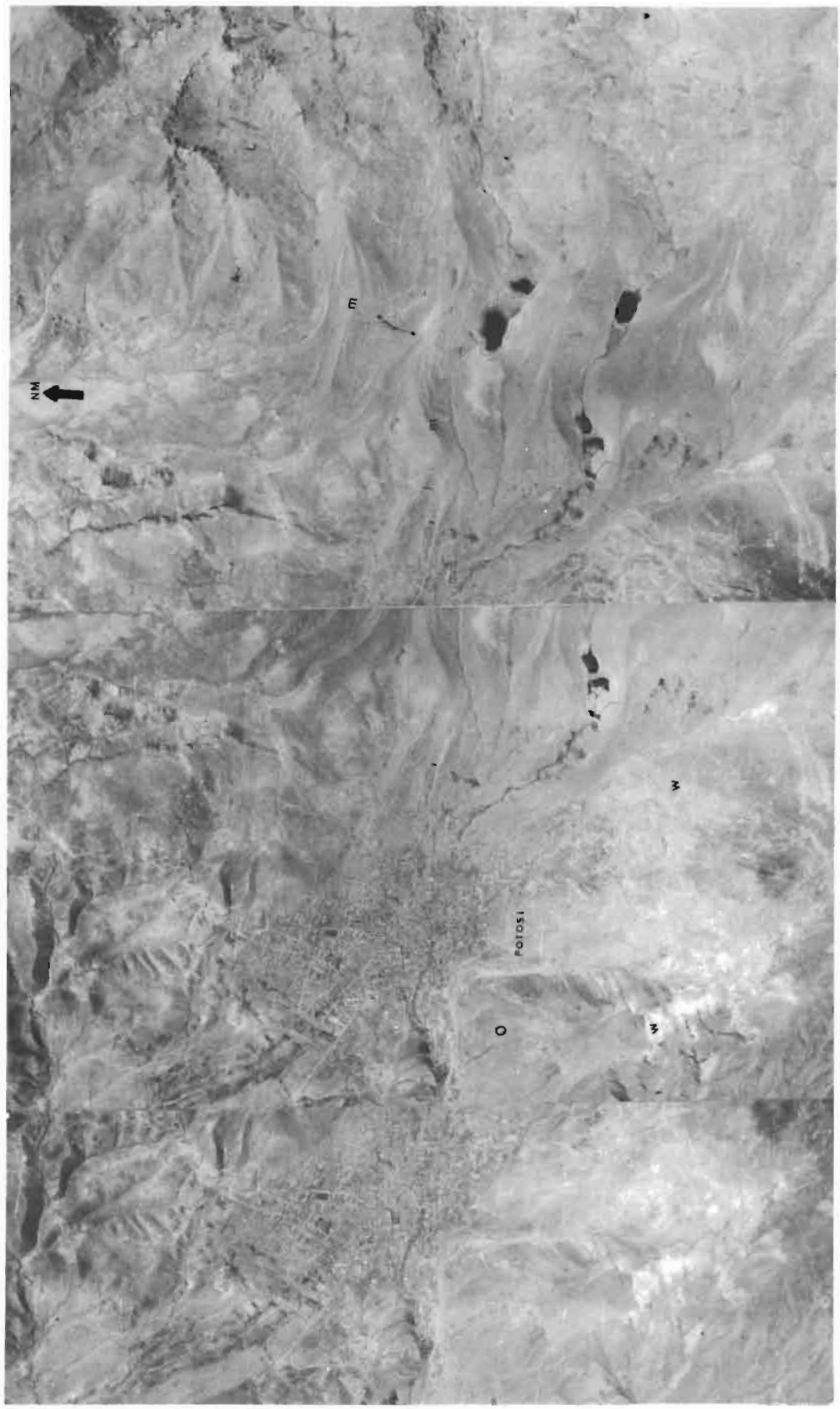
DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera en lavas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonal - forma

OBSERVACIONES Por tratarse de nombres formacionales, que solo se utilizan para esta zona, se presenta la litología que corresponde a las formaciones del Terciario, que se observan en el modelo: Formación Cantería = Brechas volcánicas (C) Formación San Roque = Lavas y tobas (S) Formación Caracoles = Arcillas y lutitas lacustres (Q) Formación Mondragon = Conglomerados areniscas y lavas interestratificadas (M)


E
NM
POTOSI
O

MODELO ESTEREOSCOPICO 80

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 01791 **FAJA DE VUELO** 12

MISION VUELO 173 **FECHA DE TOMA** 05/27/63 **PLAN DE VUELO** Kusera

LUGAR DE TOMA Tuni Condoriri- Laguna Tuni-Co.Zongo **ELEVACION** 5024 Mts.

PROVINCIA Los Andes **COORDENADAS** Lg. 68/14W Lt. 16/14S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-03 1:100.000.- 5945 1:50.000.-II 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea **ALTERACION** Si

CLASE DE ROCA Areniscas - Alternancia areniscas-lutitas - Granito

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Silúrico - Triásico - Jurácico

FORMACION GEOLOGICA Llallagua - Uncía - Catavi

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Se observa estratificación muy fina y bandeada en la alternacia de areniscas y lutitas, que también se hallan muy fracturadas y diaclasadas. La tendencia del buzamiento es hacia el NE.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Muy acentuado

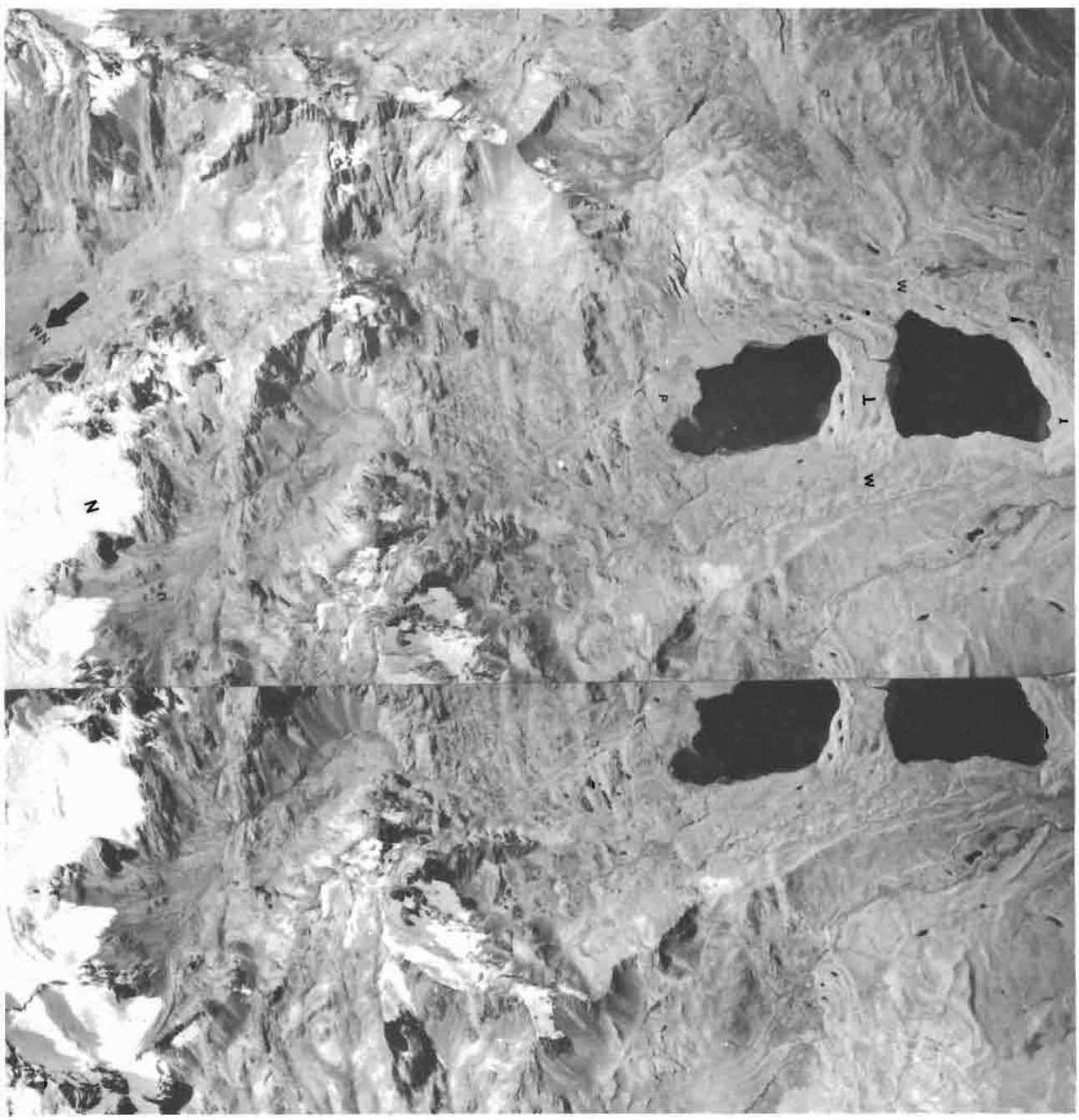
DISCORDANCIA

INTRUSIONES Si

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


NW
N
M
T
M
T

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La zona se halla fuertemente afectada por efectos de glaciación desarrollando formas de erosión y deposición. Se observa lenguas glaciares activas y campos de nieve.

GLACIACION Este modelo constituye un ejemplo típico de los efectos producidos por los procesos de glaciación de montaña. Se puede observar procesos y formas actuales de glaciación tales como campo de nieve (N), lenguas de glaciares en retroceso (U). Las formas de erosión glaciar que se observan en el área corresponden a circos glaciares, aretes glaciares, valles glaciares y escaleras. En el valle glaciar principal, se observa diferentes morrenas laterales (M) que indican la merma vertical y horizontal ocurrida durante la glaciación. De igual manera la posición de las diferentes morrenas terminales (T) indican las etapas de retroceso de ese glaciar.

EROSION GLACIAL Circo glaciar

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales y terminales

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los procesos fluviales que actuaron posteriormente a la glaciación han dado lugar a la formación de pequeños deltas en los lagos glaciares. (d).

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE Depósito lacustre

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Baja

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 81

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3616 B **FAJA DE VUELO** 20

MISION DE VUELO **FECHA DE TOMA** 09/17/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Cerro China Chualla - Avicaya **ELEVACION** 4300 Mts.

PROVINCIA Poopó **COORDENADAS** Lg. 66/54W Lt. 18/29S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Llallagua - 6238

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6238 1:50.000.-IV 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea intrusiva **ALTERACION** En diques (D)

CLASE DE ROCA Areniscas - Lutitas - Roca ígnea composición intermedia

EDAD GEOLOGICA Silúrico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Llallagua - Uncía

ESTRUCTURA GEOLOGICA Regionalmente corresponde a una gran estructura sinclinal, cuyo flanco Oeste se halla constituido por areniscas de la Formación Llallagua (S). El núcleo de esta gran estructura sinclinal se halla desarrollado en lutitas de la Formación Uncía (U), el cual ha sido intruido por un gran cuerpo intrusivo (Y), que al intruir las indicadas lutitas, las ha metamorfizado, provocando cierto metamorfismo de contacto en ellas, dandoles una expresión morfológica más fuerte de la que originalmente tienen.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las areniscas de la F. LLallagua, muestran un buen desarrollo de Dip slopes, que permiten determinar el rumbo y buzamiento de los estratos (S). La estratificación no es muy notoria en las lutitas que se hallan algo metamorfizadas (U). Se observa un dique de rumbo NE (D) que corta las lutitas, con tonos son muy claros a blancos por efecto de la intensa alteración hidrotermal.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES Stock

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La expresión morfológica se halla controlada por la estructura y la litología. Se observa que el cuerpo intrusivo (Y) tiene la expresión morfológica más fuerte del área, constituye un ejemplo de anomalía geomórfica, de drenaje y de tono, que contrasta con el valle sinclinal desarrollado en lutitas. Se observan en la parte más elevada del intrusivo, remanentes de formas de glaciación (L).

GLACIACION La glaciación ha afectado al aérea, se observa el desarrollo de pequeños circos glaciares, morrenas laterales muy bien preservadas (L).

EROSION GLACIAL Circos, aretes

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales

FLUVIO GLACIAL Depósitos fluvioglaciares

FLUVIAL En el modelado final del paisaje, la acción fluvial ha jugado un rol muy importante. La profundización de valles y el desarrollo de terrazas son testigos de dicha acción.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos aluviales, llanuras aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Regionalmente parrilla. Local dendrítico - Radial

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave en Lutitas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Geomórfica, tonal, de drenaje

OBSERVACIONES


NM

MODELO ESTEREOSCOPICO 82

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3615 B **FAJA DE VUELO** 20

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/17/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Cerro Chualla Grande - Mina Chualla **ELEVACION** 4500 Mts.

PROVINCIA Poopó **COORDENADAS** Lg. 66/52W Lt. 18/31S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Llallagua - 6238

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000 :SE-19-12 1:100.000 : 6238 1:50.000 : III 1:25.000 : NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea intrusiva **ALTERACION** Si

CLASE DE ROCA Areniscas - Roca ígnea de composición intermedia-ácida

EDAD GEOLOGICA Silúrico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Llallagua

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa una pequeña estructura anticlinal, con hundimiento al NE, desarrollada en areniscas de la Formación Llallagua (S), cuyo flanco Oeste se halla afectado y cortado por un pequeño cuerpo intrusivo, que ha provocado cierto metamorfismo en las areniscas. Por este efecto, el flanco Oeste presenta dos pequeños repliegues (p)

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION El bandeamiento fino de las areniscas de la F. Llallagua, permite delinear con facilidad varios de los cierres de la estructura anticlinal (b). El indicado bandeamiento también permite marcar el contacto entre el cuerpo intrusivo (Y) y las areniscas, complementado con la diferencia de tonos que muestran ambos tipos de roca. Los bancos de areniscas se hallan mineralizados.

FALLAS GEOLOGICAS Ambos flancos de la estructura anticlinal se hallan afectados por fallas transversales, que en algunos casos tienen además un desplazamiento vertical (d).

INVERSAS **NORMALES** Si **DE RUMBO**

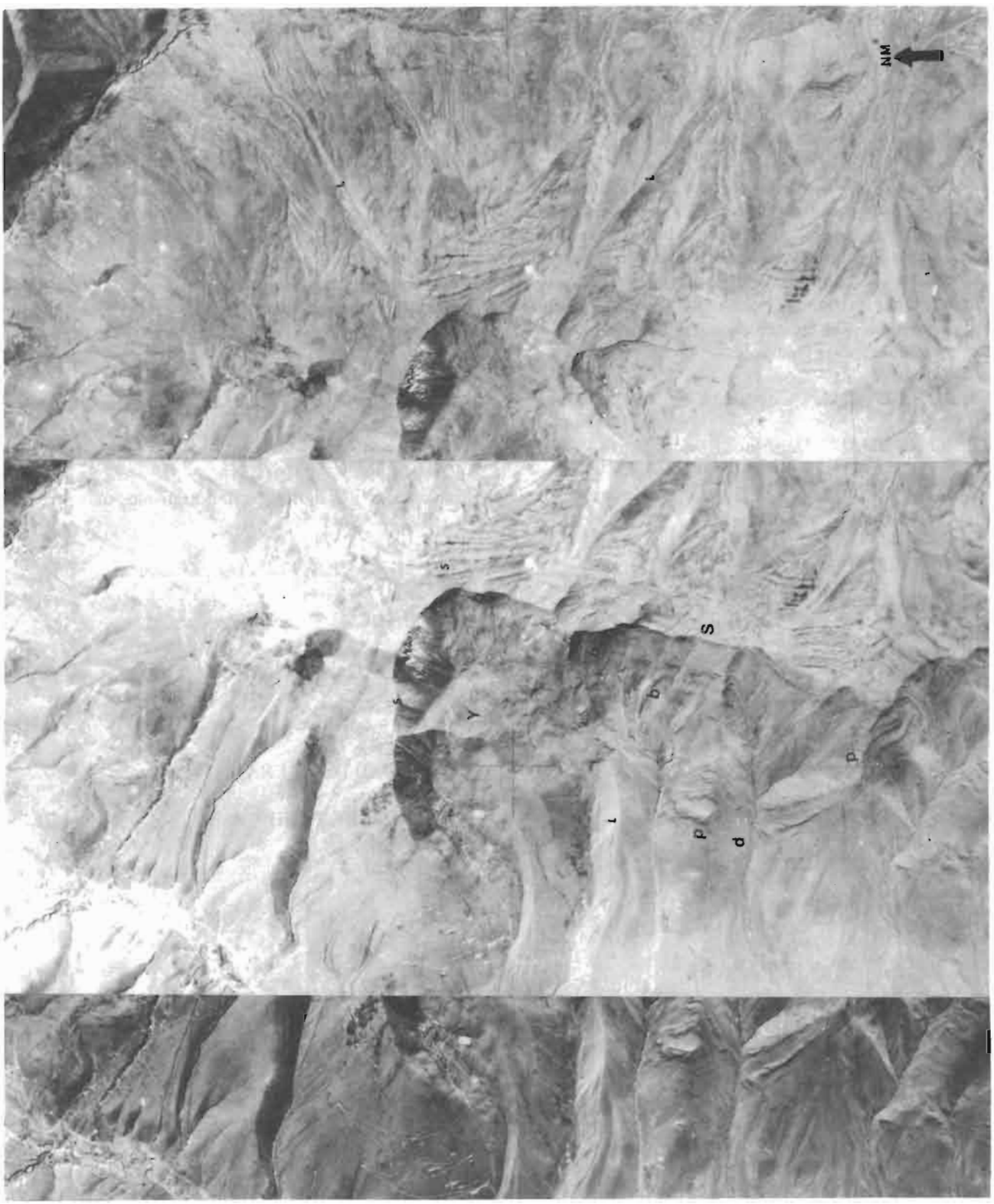
TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES Stock

VULCANISMO


NM
S
P
d
p
l

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS Se hallan ubicados importantes yacimientos filonianos con alto contenido estannifero y mineralización polimetálica de Sn, Zn, Ag y Sb.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La expresión morfológica esta controlada por la estructura y el cuerpo intrusivo, que posteriormente fue retrabajada y remodelada por procesos de glaciación. Se observa que el cuerpo intrusivo tiene una expresión morfológica más suave que las areniscas que ha intruido.

GLACIACION Los procesos de glaciación han dejado impresas en el paisaje varias formas de erosión y acumulación glaciar. Se observan circos glaciares, cuyo piso se halla desarrollado sobre el cuerpo intrusivo (s), mientras que las crestas y aretes glaciares se hallan esculpidos en las arenicas metamorfizadas de la F. Llallagua (S). Morrenas laterales (L) se hallan bien distribuídas en ambas laderas de la serranía, de manera que enmascaran y cubren gran parte de las rocas sedimentarias. Se supone que la posterior acción fluvial, ha acarreado material glaciar que puede incluir algunas concentraciones anómalas de casiterita, producto de la erosión glaciar de algunas vetas ubicadas en las áreas de mayor erosión glaciar. Estas concentraciones anómalas constituyen los depósitos fluvioglaciares ubicados en los ríos en los que desembocan los valles glaciares.

EROSION GLACIAL Circos, aretes.

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales

FLUVIO GLACIAL Depósitos fluvioglaciares

FLUVIAL Los valles glaciares están siendo profundizados por la acción fluvial, desarrollando niveles más profundos con la formación de terrazas.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Radial

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonal, geomórfica y de drenaje

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 83

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3511 B **FAJA DE VUELO** 18

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/17/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Estancia Huaylluma - Mina Kakarachi **ELEVACION** 4100 Mts.

PROVINCIA Poopó **COORDENADAS** Lg. 66/46W Lt. 18/22S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Llallagua - 6238

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6238 1:50.000.- IV 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas (S) - Lutitas (U)

EDAD GEOLOGICA Silúrica

FORMACION GEOLOGICA Cancañiri - Llallagua - Uncía

ESTRUCTURA GEOLOGICA Estructura anticlinal volcada. Se puede identificar los estratos volcados, a lo largo de las areniscas Llallagua del flanco Oeste de esta estructura. El núcleo erodado de esta estructura anticlinal está constituído por rocas de la Formación Cancañiri (N), cuya litología es de tipo areno arcillosa con clastos de diámetros que varían entre los 4 cm a mayores al metro, razón por la cual le asignan algunos autores el nombre de diamictita, aunque análisis petrográficos la clasifican como un tipo de grawacka.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las areniscas (S) de la Formación Llallagua, muestran estratos conspícuos, que pueden ser identificados y anotados con facilidad en la fotografía aérea. Lo contrario ocurre con las lutitas (U) de la Formación Uncía y las rocas de la Formación Cancañiri (N) las que además se hallan enmascaradas por efecto de la glaciación.

FALLAS GEOLOGICAS Se observan varias fallas transversales que afectan a las areniscas de ambos flancos.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El modelado del paisaje es el resultado de la acción combinada de procesos de glaciación y modificada posteriormente por procesos fluviales.

GLACIACION El área ha sido sometida a procesos de glaciación, pudiendo observarse algunos rasgos de erosión y acumulación glaciar.

EROSION GLACIAL Circos

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales (L)

FLUVIO GLACIAL Si

FLUVIAL La erosión fluvial es activa, se observa modificación del drenaje por captura de ríos, y ajuste del mismo a la estructura geológica.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras y abanicos aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla y dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 84

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 12013 **FAJA DE VUELO** 329

MISION VUELO 71 **FECHA DE TOMA** 05/24/55 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Estancia Antajahua - Guaqui **ELEVACION** 3890 Mts.

PROVINCIA Ingavi **COORDENADAS** Lg. 68/54W Lt. 16/37S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-3 1:100.000.- 5844 1:50.000.-III 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas

EDAD GEOLOGICA Terciario

FORMACION GEOLOGICA Tiwanacu

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa varios cierres (N) de una estructura anticlinal, cuyo hundimiento es hacia el NW, desarrollados en areniscas de la Formación Tiwanacu (T)

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las areniscas se hallan bien estratificadas con un buen desarrollo de Dip slopes. (T)

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Marcado en dos direcciones

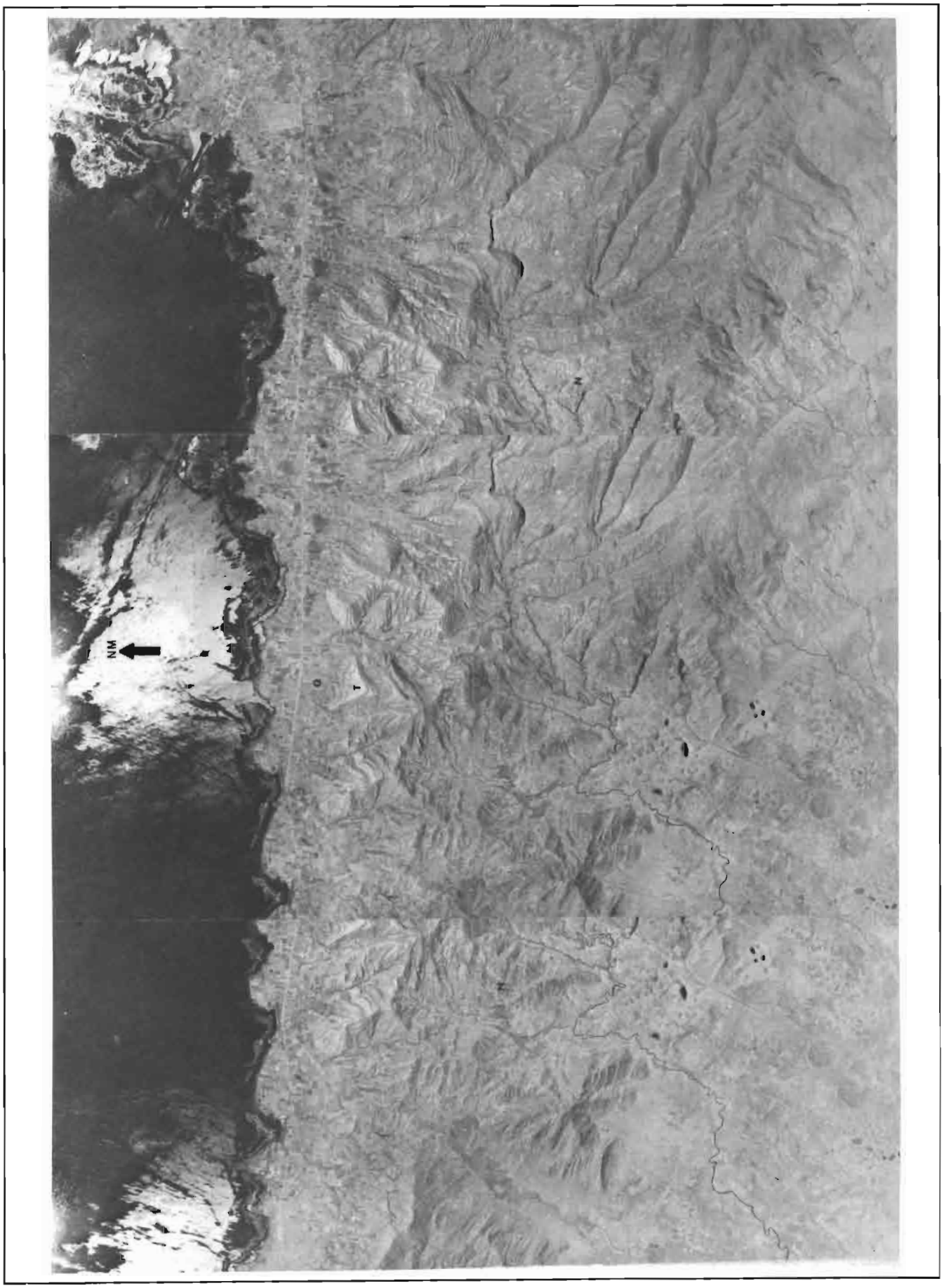
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


NM

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Al pie del flanco NE de la estructura anticlinal se observa el desarrollo de una cubierta aluvial muy gruesa (Q), producto de la acción combinada de la acumulación fluvial y lavado de manto, asociada con depósitos de una llanura de piedemonte. A lo largo del borde del lago se observan depósitos de origen lacustre afectados por la acción fluvial.

EROSION FLUVIAL Terrazas aluviales

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos aluviales coalescentes

LACUSTRE Depósitos lacustres

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dicotómico en abanicos aluviales

TEXTURA DE DRENAJE Media en areniscas

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 85

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 1957 **FAJA DE VUELO** 5

MISION VUELO 13 **FECHA DE TOMA** 05/29/63 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Tarabuco **ELEVACION** 3280 Mts.

PROVINCIA Yamparaez **COORDENADAS** Lg. 64/54W Lg 19:11S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-13 1:100.000.- 6636 1:50.000.-III 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas, lutitas, arcillas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Silúrico - Devónico - Cretácico.

FORMACION GEOLOGICA Ordovícico no diferenciado (O) - Cancañiri (C) - Kirusilla (LL) - Tarabuco (T) - Santa Rosa (S) - Icla (I) -Huamanpampa - (H) - Cretácico no diferenciado (Kr)

ESTRUCTURA GEOLOGICA La interpretación estructural del modelo es algo complicada. Se trata de una estructura sinclinal, cuyo flanco Oeste muestra el desarrollo total de las formaciones aflorantes en el área, especialmente alrededor de la localidad de Tarabuco, donde las Formaciones Tarabuco (T) y Santa Rosa (S) muestran Dip slopes bien desarrollados. Lo contrario ocurre con el flanco Este, que se halla muy afectado por la erosión, adquiriendo un relieve plano,con cubierta reciente que dificulta la identificación de rumbos y buzamientos. Además la estructura sinclinal se halla afectada por una falla transversal de rumbo E-W (E) que pasa por la localidad de Tarabuco, desplazando hacia el Este, las formaciones Tarabuco (T), Santa Rosa (S) y Huamanpampa (H) que se hallan al lado Sur de la falla, lo que produce un gran desplazamiento del eje del sinclinal, (Z). Otra falla longitudinal de tipo inversa, afecta al flanco Este del indicado sinclinal, en la foto se observa el ajuste de un río a lo largo de la indicada falla (W)

ANTICLINAL **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Como se mencionó anteriormente, los rumbos y buzamientos pueden ser facilmente identificables en las formaciones Tarabuco (T) y Santa Rosa (S) por los Dip slopes que las areniscas desarrollan. En las Formaciones Huamanpampa (H), Icla (I), es posible también apreciar rumbos y buzamiento aunque con mayor dificultad.

FALLAS GEOLOGICAS Se observan dos fallas. La primera corresponde a una falla transversal (E) de gran desplazamiento, que fue descrita anteriormente. La segunda, es la falla inversa longitudinal (W) que coincide con el eje de la estructura sinclinal, también descrita anteriormente.

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO** Si

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA Silúrico-Devónico-Cretácico

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Geomorfológicamente la superficie horizontal que bisela a rocas del Devónico, corresponde a una superficie de erosión. El flanco Oeste de la estructura sinclinal, desarrolla una alternancia de serranías y valles controladas por el rumbo y buzamiento de los estratos.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL La acción fluvial ha sido importante en el modelado del relieve. La profundización de valles y desarrollo de terrazas aluviales es resultado de dicha acción.

EROSION FLUVIAL Terrazas **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla - Dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Variable **DENSIDAD DE DRENAJE** Variable

DISEÑO DE TONO Bandeado **TEXTURA DE TONO** Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** Lineamiento (E)

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 86

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3762 **FAJA DE VUELO** 2

MISION VUELO 22 **FECHA DE TOMA** 08/25/61 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Estancia Chullunquiri **ELEVACION** 4000 Mts.

PROVINCIA Quijarro **COORDENADAS** Lg. 66/09W Lt. 20/11S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SF-19-4 1:100.000.- 6333 1:50.000.- II 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternancia lutitas, areniscas

EDAD GEOLOGICA Silúrico

FORMACION GEOLOGICA Cancañiri (C) - Llallagua (LL) - Uncía (U)

ESTRUCTURA GEOLOGICA Presencia de un cierre de estructura sinclinal, con núcleo en lutitas de la F. Uncía. Este ejemplo muestra estratos volcados (K) en un sector del flanco Este del sinclinal.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION La identificación del rumbo y buzamiento en las areniscas de la F. Llallagua (LL) no presenta dificultades. Por el contrario en las rocas de la F. Cancañiri (C) no es posible su identificación. En la F. Uncía (U), se puede observar rumbos y buzamientos en aquello puntos donde ellas alternan con bancos delgados de limolitas o areniscas.

FALLAS GEOLOGICAS La interrupción de estratos en el punto P, podrían sugerir la presencia de una falla. Fallas transversales se observan en el área donde los estratos se hallan volcados (K)

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES



YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El valle sinclinal que se observa, es resultado del control que ejerce la estructura y litología.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los procesos fluviales son los que predominan en el área.

EROSION FLUVIAL Profundización de valles

ACUMULACION FLUVIAL Pequeñas llanuras aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Localmente dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Fina en lutitas

DENSIDAD DE DRENAJE Alta en lutitas

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Suave en lutitas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES De acuerdo a la revisión de campo, la Formación Cancañiri varia en litología desde areniscas, alternancia de areniscas,lutitas a diamictitas que son las que predominan y caracterizan a esta formación. En la foto aérea la expresión morfológica y las características fotogeológicas no permiten identificar a las diamictitas como tales, ya que su expresión es similar a la presentada por una alternancia de areniscas de grano fino con lutitas.

MODELO ESTEREOSCOPICO 87

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 2209 B **FAJA DE VUELO** 25

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/27/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Estancia Jalsuri - Río Jalsuri **ELEVACION** 3500 Mts.

PROVINCIA Chayanta **COORDENADAS** Lg. 66/07 Lt. 18/48S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-2 1:100.000.- 6337 1:50.000.- I 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternancia areniscas y lutitas (N) - Areniscas (S) - Arcillas (T y P) - Calizas (M)

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Cretácico

FORMACION GEOLOGICA Amutara - Tarapaya- Miraflores - Aroifilla.

ESTRUCTURA GEOLOGICA Las rocas del Cretácico se hallan muy plegadas, a diferencia de las rocas del Ordovícico que constituyen un pliegue ancho anticlinal fallado en el eje (F). Los pliegues sinclinales en las rocas del Cretácico, generalmente tienen como núcleo a las arcillas de la Formación Aroifilla (P) mientras que la formación Tarapaya constituye los núcleos de anticlinales (T) y las caliza de la formación Miraflores corresponden a los flancos de las estructuras.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las areniscas que alternan con lutitas de la formación Amutara, desarrollan Dip slopes, que permiten identificar el rumbo y buzamiento. En las rocas del Cretácico, las únicas rocas que permiten determinar rumbo y buzamiento son las calizas, que constituyen los flancos y cierres de los pliegues. Las calizas se registran en tonos muy claros a grises.(M)

FALLAS GEOLOGICAS La mayoría de los pliegues desarrollados en las rocas del Cretácico se hallan afectados por fallas longitudinales inversas cuya interpretación es complicada, como ocurre en los puntos 1 y 2. La estructura anticlinal en el Ordovícico, también se halla afectada en su eje por otra falla longitudinal inversa (F). El río principal que corta las estructuras plegadas podría corresponder a una zona de fallamiento transversal. Fallas transversales menores que desplazan a bancos de calizas son muy frecuentes.

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Si **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA Ordovícico - Cretácico

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La expresión morfológica se halla especialmente controlada por el tipo de litología y la estructura. Los valles sinclinales y anticlinales se hallan desarrollados sobre arcillas de las Formaciones Tarapaya y Aroifilla. Las serranías homoclinales sobre las calizas Miraflores y las areniscas del Ordovícico.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL La acción fluvial ha sido un proceso preponderante en el modelado del paisaje.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales.

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Regionalmente parrilla- Dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

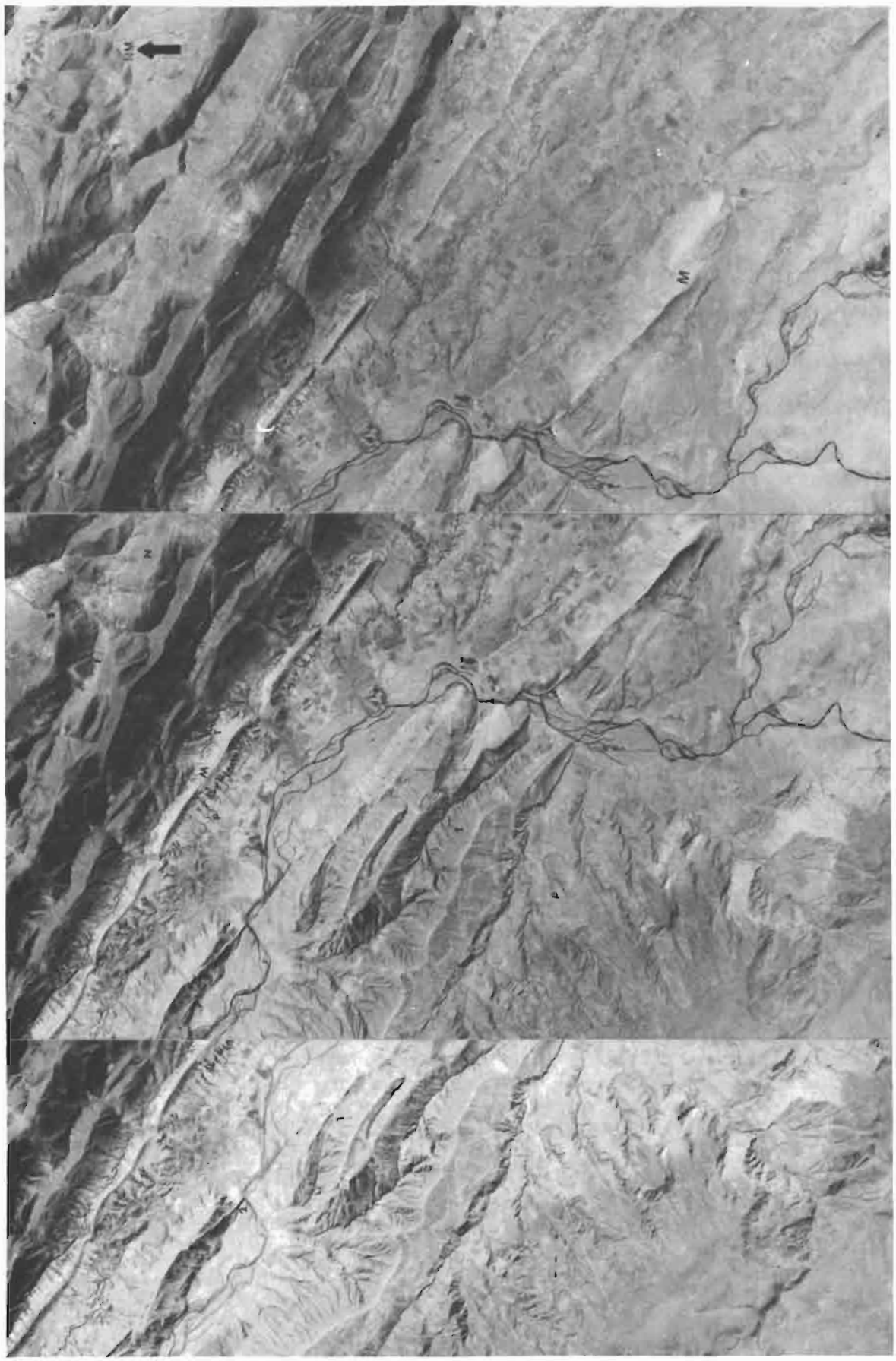
DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Suave en arcillas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Drenaje

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 88

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3173 B **FAJA DE VUELO** 45

MISION VUELO 398 **FECHA DE TOMA** 09/13/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Ñuque - Tambillo **ELEVACION** 3580 Mts.

PROVINCIA Nor Cinti **COORDENADAS** Lg. 65/17W Lt. 20/01S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SF-20-1 1:100.000.- 6533 1:50.000.- IV 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea **ALTERACION** Si

CLASE DE ROCA Alternancia areniscas y lutitas - Areniscas y basaltos - Calizas - Arcillas -

EDAD GEOLOGICA Ordovícico (O) - Silúrico (S) - Cretácico

FORMACION GEOLOGICA Ñuque - Cancañiri - Condo - La Puerta - Tarapaya - El Molino - Santa Lucía

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa el cierre Norte de una gran estructura sinclinal, que por efecto de esfuerzos compresionales deforma y repliega las areniscas y basaltos (B) de las Formaciones La Puerta y Condo , en un anticlinal de rumbo casi perpendicular a la estructura principal. Esta estructura es demasiado compleja y afectada por una serie de fallas que necesariamente requiere de un cuidadoso trabajo de campo.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Los Dip slopes desarrollados en las areniscas (T) de la Formación La Puerta y calizas (M) de la Formación El Molino, permiten la identificación del rumbo y buzamiento de los estratos.

FALLAS GEOLOGICAS Se observan dos fallas inversas (K) entre el Ordovícico y las areniscas del Cretácico, cuya mecánica es muy complicada. Existen fallas transversales, que afectan al anticlinal secundario, desplazando transversalmente a los basaltos (B) y a las areniscas (T) de la Formación La Puerta. Los basaltos se registran en tonos oscuros y se hallan por debajo de la areniscas La Puerta. Otra falla transversal importante es la que afecta a las calizas de la Formación el Molino, que pasa por la localidad de Tambillo. Fallas transversales menores se observan en toda el área.

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

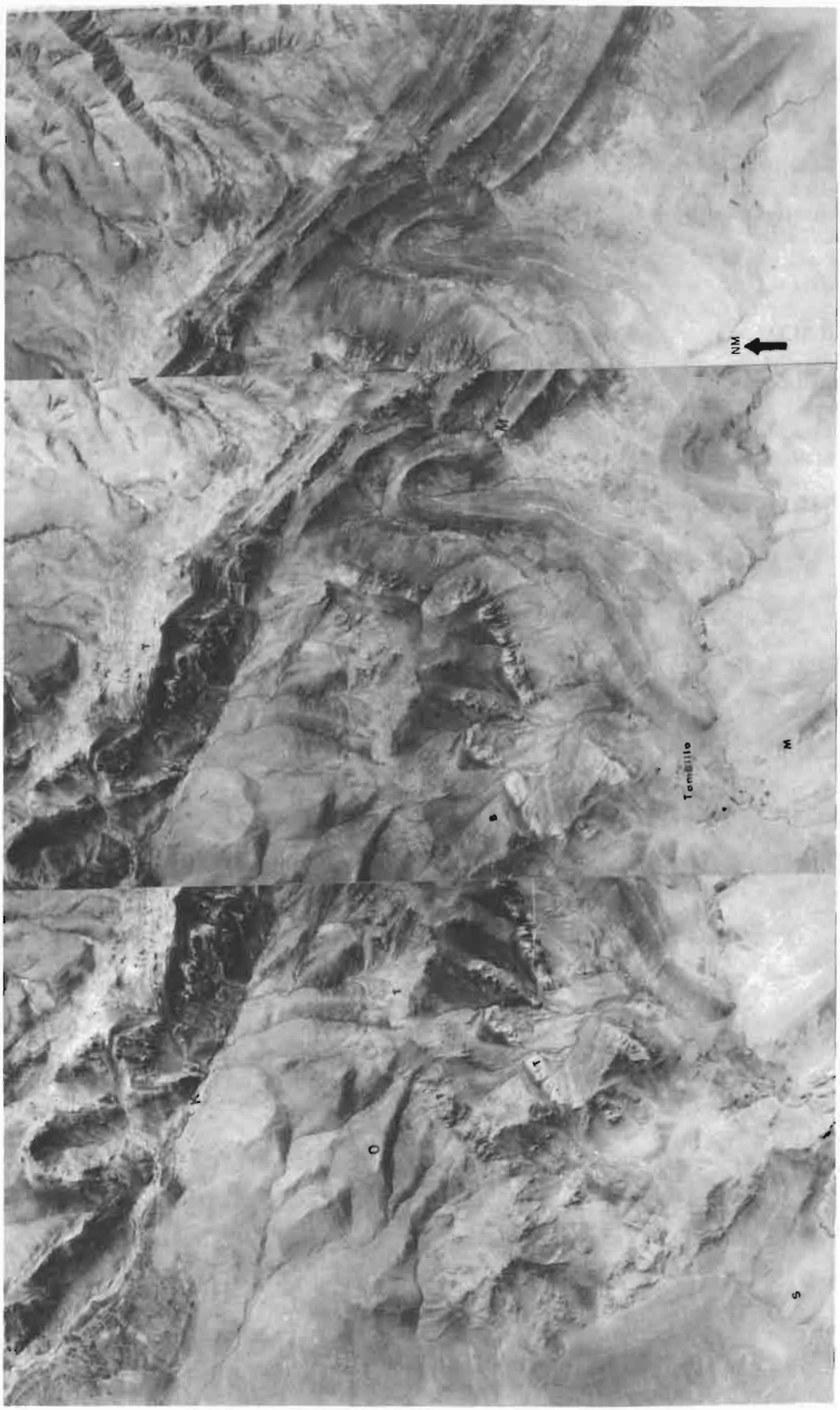
TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO** Intenso en las areniscas

DISCORDANCIA Ordovícico-Silúrico-Cretácico

INTRUSIONES

VULCANISMO Los basaltos son evidencia del vulcanismo ocurrido en el Cretácico.


NM
Tombillo
M
S

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Las serranías de mayor elevación y expresión morfológica corresponden a las desarrolladas en las areniscas La Puerta. Existen serranías de menor elevación y expresión morfológica que se hallan controladas por el rumbo de los bancos de calizas de la Formación El Molino (M). Dichas serranías pueden ser clasificadas como serranías homoclinales.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los procesos fluviales han sido los preponderantes en el modelado del relieve. Muchos de los ríos se han ajustado a las fallas inversas y transversales.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 89

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 353 B **FAJA DE VUELO** 24

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 10/08/64 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Esquena - Comunidad Totora **ELEVACION** 3330 Mts.

PROVINCIA Chayanta **COORDENADAS** Lg. 66/08W Lt. 18/46S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-2 1:100.000.- 6337 1:50.000.- I 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION** Algo en rocas del Ordovícico

CLASE DE ROCA Alternancia de areniscas y lutitas - Calizas -Arcillas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Cretácico

FORMACION GEOLOGICA Amutara - Tarapaya - Miraflores - Aroifilla

ESTRUCTURA GEOLOGICA Los pliegues anticlinales y sinclinales, desarrollados en rocas del Ordovícico y Cretácico, se hallan afectados por fallas inversas longitudinales.

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las rocas de la Formación Amutara y las calizas de la F. Miraflores se hallan bien estratificadas. En el Ordovícico se puede observar estratos horizontales en el tope del núcleo de la estructura anticlinal. En el corte del río principal se puede apreciar como el rumbo y buzamiento de la indicada estructura, va cambiando sus valores de buzamiento desde el eje hacia los flancos, donde adquieren mayores valores. Las calizas de la F. Miraflores (M), se registran en tonos blancos a claros, en las que el rumbo y buzamiento, se identifica en base a los escarpes de las serranías desarrolladas sobre las indicadas calizas. Por el contrario en las arcillas de la F. Aroifilla (B) no es posible la identificación de la estratificación si no se realiza la extrapolación y correlación con las otras rocas. Por debajo de las calizas, se observa afloramientos de reducido espesor, correspondientes a las arcillas y areniscas de la F. Tarapaya (T), las que se hallan afectadas por fallas inversas longitudinales, adelgazando sus espesores o provocando su desaparición. (E2 y E4)

FALLAS GEOLOGICAS Como se indicó anteriormente, se observan tres fallas inversas longitudinales de importancia en el área. La primera y la segunda (E2 y E3) convergen en su extremo NW, para luego constituir una sola. La falla E2 corresponde a una falla de muy bajo ángulo, echando estratos del Ordovícico sobre las arcillas y areniscas Tarapaya y La Puerta-Condo? afectando además a las calizas de la F. Miraflores, como se puede observar en el sinclinal de Esquena. Esta falla afecta al flanco Oeste del pequeño sinclinal de Esquena, donde por primera vez se colectó un bilobite, fósil importante del Cretácico. La Falla E3 corta a los estratos del Cretácico, y además hecha rocas Ordovícicas sobre Cretácicas, que en superficie adoptan una forma de cuña con la convergencia de la falla E2. La tercera falla E4, trunca el cierre de la estructura sinclinal en las calizas y al mismo tiempo afecta al núcleo y eje de una estructura anticlinal Ordovícica. Fallas transversales también se observan.

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Existe una relación muy marcada entre el paisaje y el control que ejerce la estructura. Se observan valles sinclinales, serranías anticlinales, serranías sinclinales, serranías homoclinales

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Predominancia de los procesos fluviales.

EROSION FLUVIAL Valles y terrazas **ACUMULACION FLUVIAL** Llanuras aluviales de cursos trenzados

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Regional parrilla. Dendrítico en arcillas

TEXTURA DE DRENAJE Alta en diseño dendrítico **DENSIDAD DE DRENAJE** Variable

DISEÑO DE TONO Bandeado - Amigdoidal en sectores **TEXTURA DE TONO** Suave

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS**

OBSERVACIONES


ESQUENA
NM

MODELO ESTEREOSCOPICO 90

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3862 B **FAJA DE VUELO** 48

MISION VUELO 385 **FECHA DE TOMA** 09/20/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Rodeo Cocha-Camino Potosí-Padcoyo **ELEVACION** 3570 Mts.

PROVINCIA Nor Cinti **COORDENADAS** Lg. 65/15W Lt. 20/09S

DEPARTAMENTO Chuquisaca **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SF-20-1 1:100.000.- 6533 1:50.000.- IV 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternancia areniscas y lutitas- Areniscas - Calizas Arcillas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Padcoyo- La Puerta - El Molino - Santa Lucía

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa el cierre Sur de una gran estructura sinclinal, que ha sido fallada en ambos flancos, provocando que las rocas más plásticas de acuerdo al nivel estructural, se replieguen y en casos los estratos se vuelquen (D).

ANTICLINAL Si **SINCLINAL** Si **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Los bancos de calizas y areniscas de la Formación El Molino (M) por efecto de la erosión diferencial desarrollan Dip slopes que permiten identificar el rumbo y buzamiento.

FALLAS GEOLOGICAS Truncamiento de estratos, convergencia de estratos, estratos volcados y adelgazamiento de las Formaciones La Puerta (T) y Molino sugieren la presencia de fallas inversas longitudinales entre rocas del Ordovícico y la base del Cretácico, ubicadas en ambos flancos de la estructura (E). Fallas transversales se observan en ambos flancos.

INVERSAS Si **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Si **LONGITUDINALES** Si **SOBRESCURRIMIENTOS**

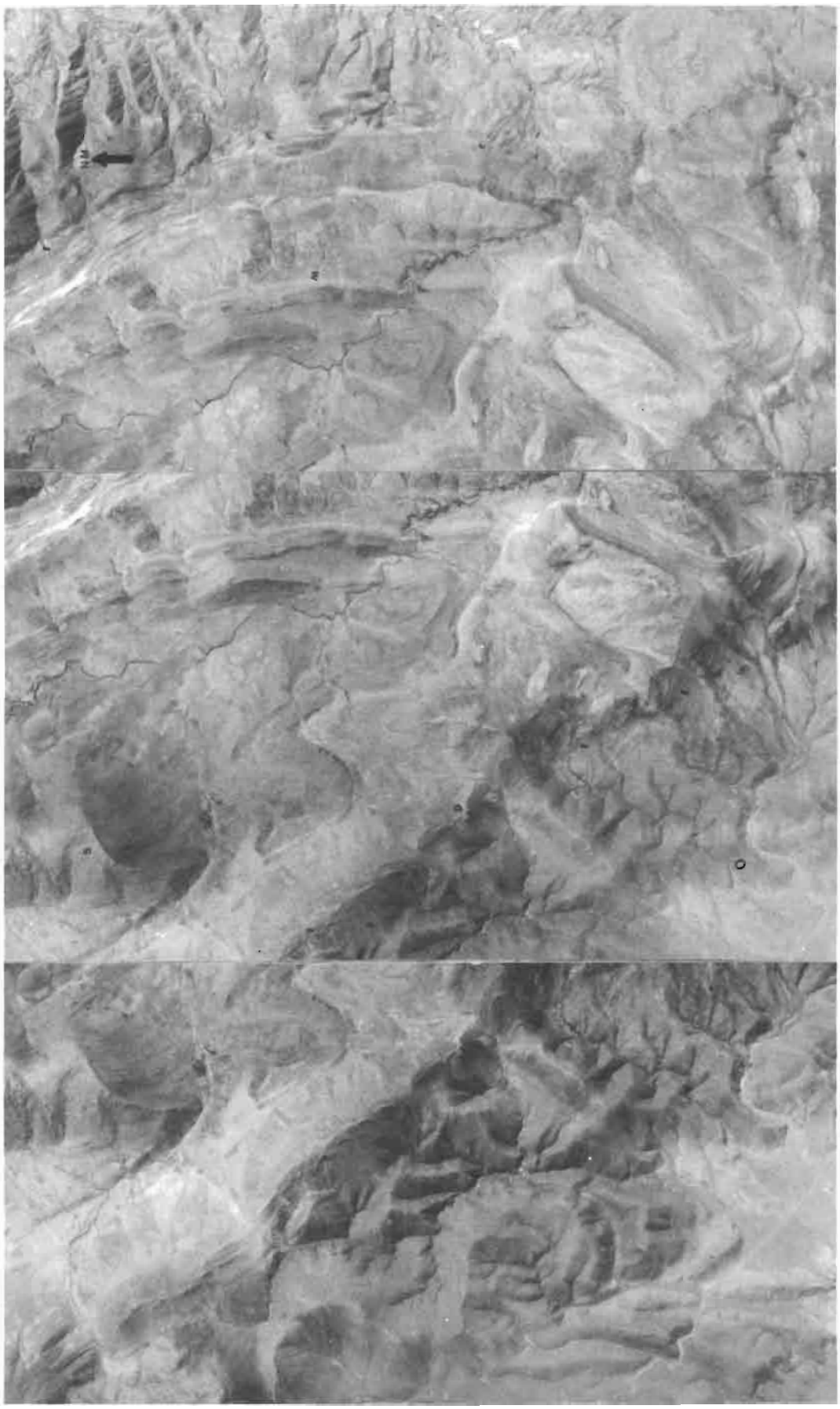
LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA Ordovícico - Cretácico - Terciario

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES



YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La expresión morfológica varía de acuerdo al tipo de litología y estructura. El relieve en rocas del Ordovícico (O) es más suave, uniforme y de menor expresión que las desarrolladas en rocas del Cretácico, las que por efecto de la erosión diferencial han desarrollado una alternancia de serranías y valles homoclinales en las calizas. Por la mayor resistencia de las areniscas (S) ubicada en el núcleo del sinclinal, desarrollan una serranía sinclinal en el extremo NW del modelo (S).

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo (Parrilla-Dendrítico)

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 91

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 2986 B **FAJA DE VUELO** 46

MISION VUELO 385 **FECHA DE TOMA** 08/07/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Caiza D, Minas San Simón, Rosario **ELEVACION** 3600 Mts.

PROVINCIA Linares **COORDENADAS** Lg. 65/38W Lt. 20/04S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Caiza D - 6433

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SF-20-1 1:100.000.- 6433 1:50.000.- I 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea intrusiva **ALTERACION** Sí

CLASE DE ROCA Alternancia de areniscas lutitas cortadas por diques ígneos

EDAD GEOLOGICA Ordovícico

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa el cierre de una estructura sinclinal amplia, cortada por numerosos diques (D) de composición ácida a intermedia.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Sí **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Los valores de buzamiento son casi horizontales, y ello permite su diferenciación con los diques que son verticales.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES Diques ígneos - Sills o mantos?

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS Yacimientos de Plomo, Plata y Zinc.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La estructura sinclinal controla el paisaje, desarrollando por efecto de la erosión y la estratificación casi horizontal una serranía sinclinal. De igual manera las líneas de drenaje se hallan ajustadas a los cierres de la estructura, caracterizadas por una deflexión de los cursos de los ríos.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo - Dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media a alta

DENSIDAD DE DRENAJE Media a alta

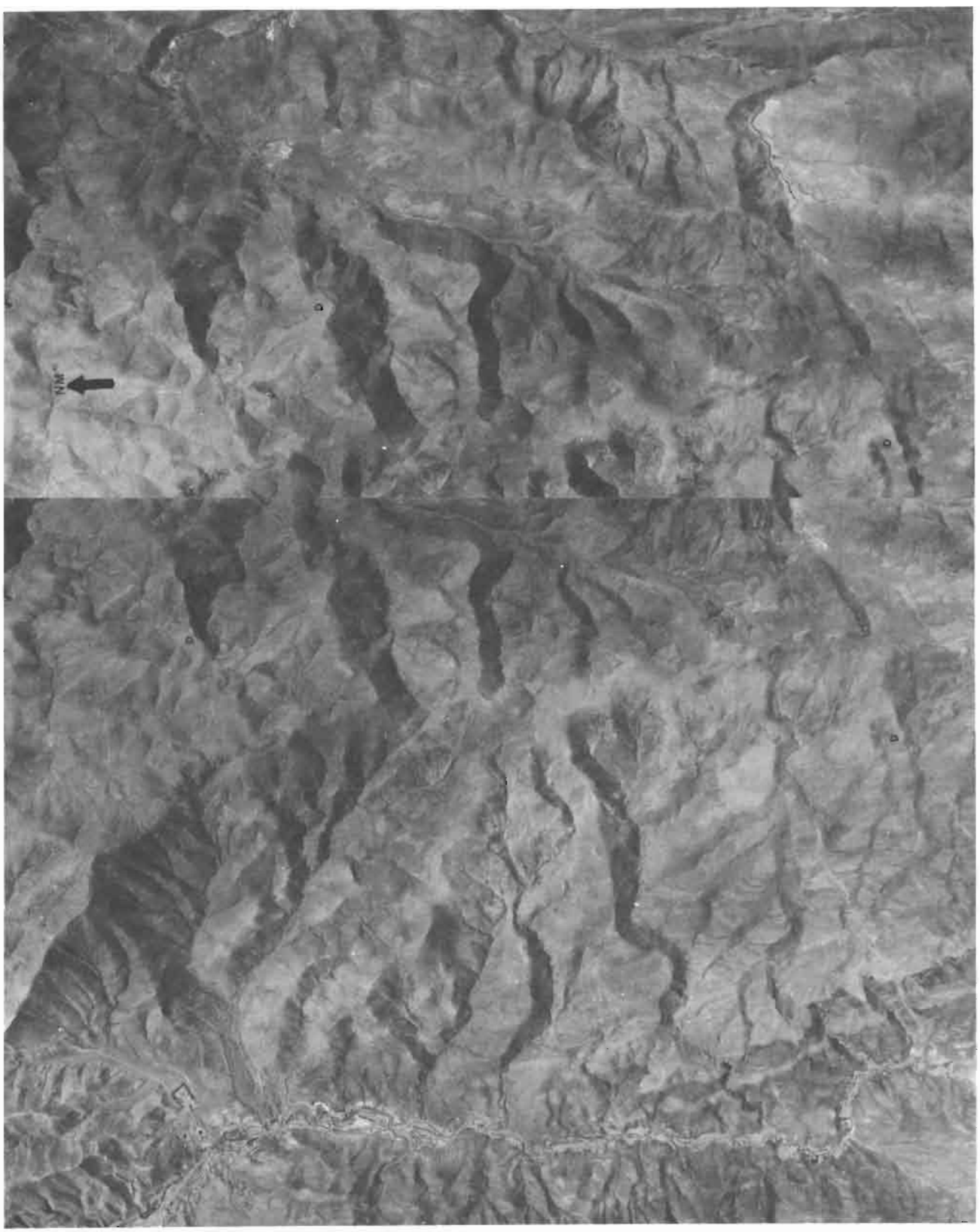
DISEÑO DE TONO Amigdoidal

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamientos

OBSERVACIONES


N.N.E.

MODELO ESTEREOSCOPICO 92

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3501 **FAJA DE VUELO** 1

MISION VUELO 21 **FECHA DE TOMA** 08/13/63 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Estancias Chinchilla y Cienega **ELEVACION** 3300 Mts.

PROVINCIA Nor Chichas **COORDENADAS** Lg. 65/37W Lt.20/15

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SF-20-1 1:100.000.- 6433 1:50.000: II 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea intrusiva **ALTERACION** Sí

CLASE DE ROCA Alternancia areniscas y lutitas cortadas por diques y sills

EDAD GEOLOGICA Ordovícico

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa cierres de una gran estructura sinclinal, cortados por una gran cantidad de sills y diques ígneos de composición ácida a intermedia (D), orientados en dirección E-W, los cuales pueden ser confundidos con la estratificación, en aquellos sectores donde el cierre de la estructura adquiere el rumbo E-W. La expresión morfológica es un criterio que permite diferenciar los diques de la estratificación en este caso.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Sí **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Rumbos y buzamientos se pueden apreciar en las rocas que afloran en la parte Oeste del modelo (W), las que además se hallan atravesadas por sills y diques ígneos. Al este de esta zona se observan rocas (E) donde los diques desaparecen. Rumbos y buzamientos no son de fácil identificación en esta zona. En algunos sectores un bandeamiento muy ténue en las rocas indica que el rumbo de los estratos tienen un rumbo casi N-S.

FALLAS GEOLOGICAS Es posible que entre la zona W con diques y la E sin diques, exista una falla de tipo logitudinal (K).

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** Sí **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES Diques ígneos - Sills?

VULCANISMO


E
E
W
W
W
D
D
D
W

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS Yacimiento de Plomo, Plata, Zinc.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La expresión morfológica de los diques permite su diferenciación con las rocas intruidas. En algunos sectores algunos estratos casi horizontales, podrían ser interpretados como Sills o Mantos (M). El drenaje del área se halla ajustado a la estructura sinclinal. Las deflexiones curvas que muestran los ríos, reflejan los cierres de la estructura sinclinal, especialmente en la zona W.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los ríos se hallan profundizando el actual relieve. Algunos ríos muestran un fuerte lineamiento, que en sectores puede coincidir con una zona de falla (K).

EROSION FLUVIAL **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Localmente dendrítico- Parrilla

TEXTURA DE DRENAJE Media a fina **DENSIDAD DE DRENAJE** Media a alta

DISEÑO DE TONO **TEXTURA DE TONO** Suave

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** Lineamientos

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 93

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 21106 **FAJA DE VUELO** 328

MISION VUELO 123 **FECHA DE TOMA** 08/21/55 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Hacienda Kalapunco - Río Guaquira **ELEVACION** 3960 Mts.

PROVINCIA Ingavi **COORDENADAS** Lg. 68/28W Lt. 16/42S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-3 1:100.000.- 5943 1:50.000.- IV 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - Conglomerados - Arcillas

EDAD GEOLOGICA Terciaria

FORMACION GEOLOGICA Tiwanacu (T) - Coniri (C) - Kollu Kollu (LL)

ESTRUCTURA GEOLOGICA Localmente corresponde a una estructura homoclinal. Regionalmente pertenece al flanco Oeste de un sinclinal.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** Sí **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las areniscas y conglomerados de las Formaciones Tiwanacu y Coniri se hallan bien estratificadas. Por efecto de la erosión diferencial, los planos de estratificación desarrollan Dip slopes con caras triangulares bien marcadas que permiten la fácil identificación del rumbo y buzamiento de los estratos.

FALLAS GEOLOGICAS Se observan fallas transversales.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Sí **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO** Sí

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Desarrollo de serranías homoclinales debida al control litológico y estructural.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los procesos fluviales siguen modelando el actual paisaje.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos y pequeñas llanuras aluviales.

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla con dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

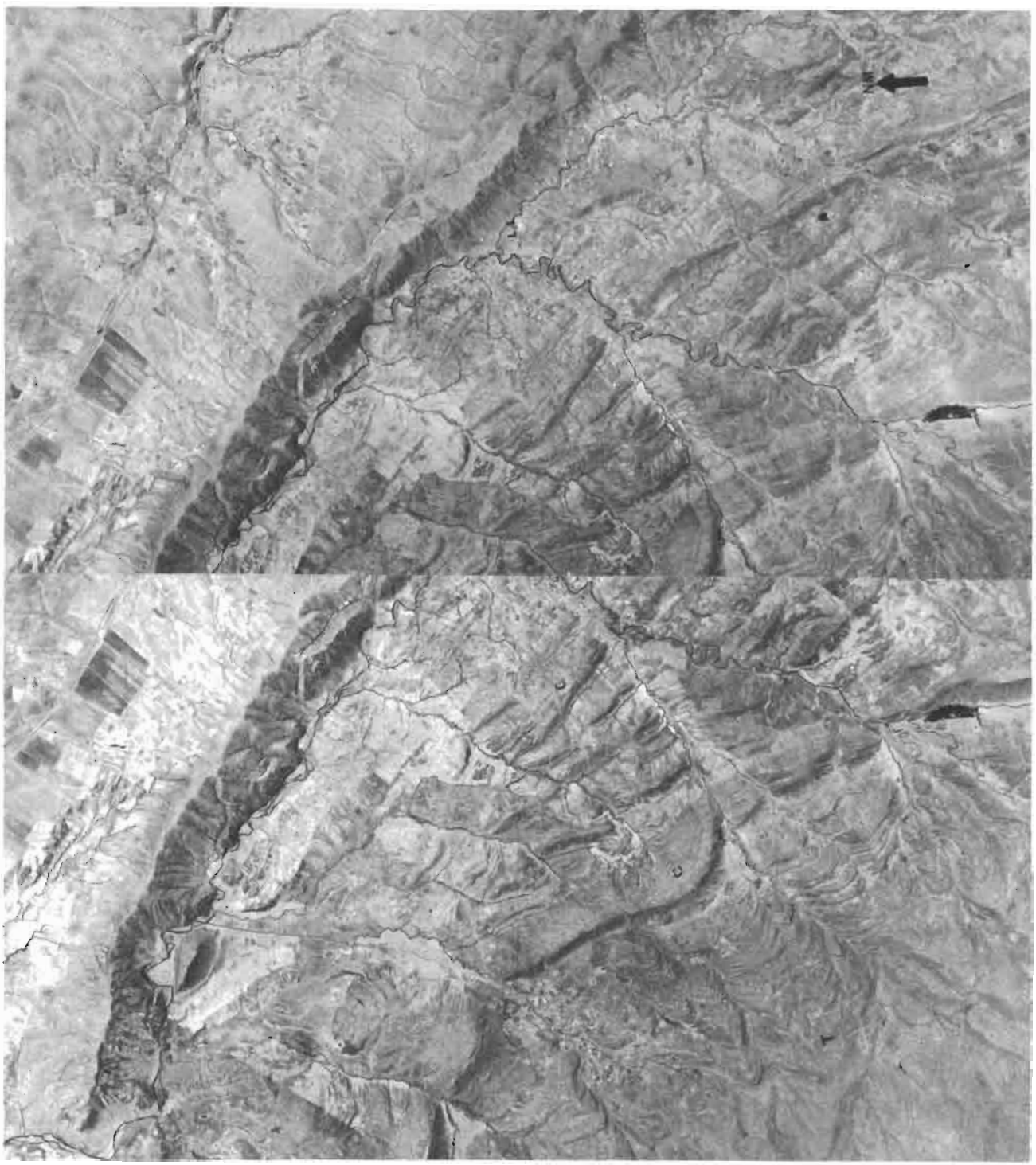
DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 94

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 2733 **FAJA DE VUELO** 5

MISION VUELO 13 **FECHA DE TOMA** 08/30/67 **PLAN DE VUELO** Hurd

LUGAR DE TOMA Tupiza **ELEVACION** 2850 Mts.

PROVINCIA Sud Chichas **COORDENADAS** Lg. 65/44W Lt. 21/28S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SF-20-5 1:100.000.- 6429 1:50.000.- I 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Igneas **ALTERACION** Muy acentuada (B)

CLASE DE ROCA Alternancia areniscas, lutitas - Conglomerados - Basaltos

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Ordovícico sin diferenciar - Tupiza - Nazareno

ESTRUCTURA GEOLOGICA La zona presenta grandes complicaciones estructurales. Se trata de una fosa tectónica, donde el bloque hundido se halla constituído por un subestrato de rocas de edad Ordovícica (O) con un relleno de depósitos Terciarios, principalmente de edad Miocena, afectados por fallas longitudinales regionales (U), ubicadas en ambos lados del bloque Ordovícico (O). Estas fallan ponen en contacto al Ordovícico con los conglomerados de las formaciones Nazareno (N) y Tupiza (T). Otro evento importante es el vulcanismo ocurrido en la zona, asociado con efusiones de composición basálticas y dacíticas (B). Se observa el cierre de una estructura anticlinal en la F. Tupiza ubicado en la parte SE de Tupiza.(Y)

ANTICLINAL Sí **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

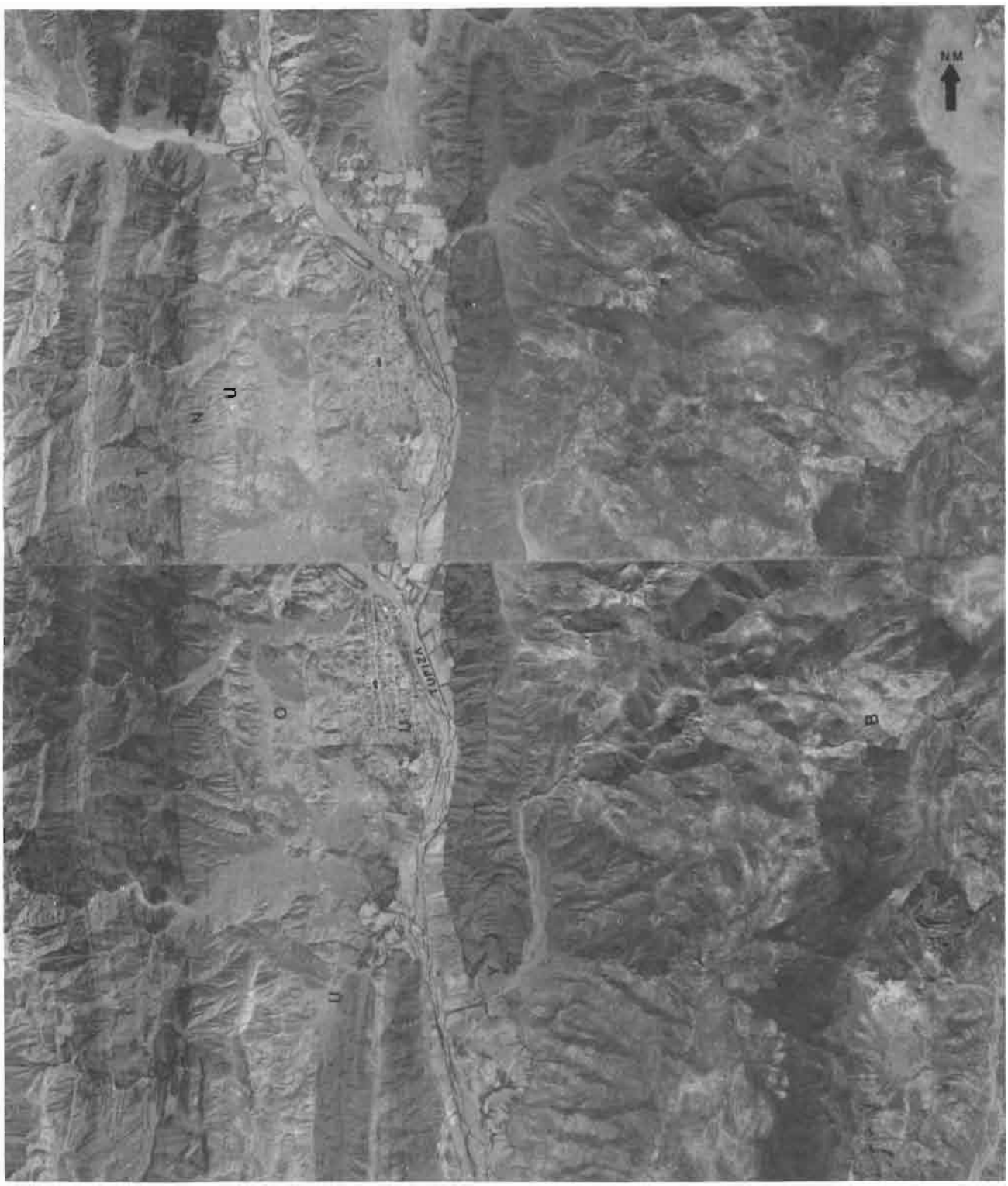
ESTRATIFICACION La estratificación en la alternancia lutitas, limolitas del Ordovícico no es identificable en el modelo estereoscópico. Por el contrario la estratificación en los conglomerados de la F. Tupiza es acentuada, debido a la fuerte expresión morfológica de estas rocas. Debido a sus valores de buzamientos altos en el borde Oeste del modelo, se pueden delinear gran cantidad de estratos conspícuos, caracterizados por un diseño bandeado. Al SE de Tupiza, se puede observar un cierre anticlinal de los conglomerados del Terciario Tupiza (Y).

FALLAS GEOLOGICAS Se observa varias fallas longitudinales paralelas, ubicadas entre las rocas del Ordovícico y Terciario. Las rocas del Ordovícico corresponden al bloque hundido, mientras que los conglomerados corresponden a los bloque levantados que limitan la fosa. Uno de los principales criterios para la identificación de las zonas de falla, son los marcados lineamientos que se observan entre los contactos de las rocas del Ordovícico y del Terciario.

INVERSAS **NORMALES** Sí **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Sí **LONGITUDINALES** Sí **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO**


N.M.

DISCORDANCIA En sectores entre Ordovícico y Terciario Tupiza

INTRUSIONES Dique ígneo en Ordovícico.

VULCANISMO Se observan efusiones basálticas y dacíticas.

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Las fallas son los principales controles en el desarrollo del paisaje.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los procesos fluviales predominan actualmente en el modelado del paisaje.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos aluviales, llanuras aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Variable. Dendrítico en Ordovícico

TEXTURA DE DRENAJE Fina en Ordovícico

DENSIDAD DE DRENAJE Alta en rocas Ordovícicas

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en conglomerados

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamientos

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 95

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 12528 **FAJA DE VUELO** 319

MISION VUELO 74 **FECHA DE TOMA** 06/12/55 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Corocoro **ELEVACION** 4170 Mts.

PROVINCIA Pacajes **COORDENADAS** Lg. 68/28W Lt. 17/11S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA Corocoro - 5942

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-7 1:100.000.- 5942 1:50.000.- III 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas, Arcillas, Arcillas yesíferas, Yesos, Conglomerados

EDAD GEOLOGICA Terciaria

FORMACION GEOLOGICA Jalluma, Pando, Ballivián, Caquiaviri

ESTRUCTURA GEOLOGICA El área presenta complicaciones estructurales marcadas por plegamiento intenso, fallamiento y diaclasamiento.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS** Si

ESTRATIFICACION Las rocas de las Formaciones Caquiaviri (C), Pando (P) y Coniri (Q) por erosión diferencial permiten la identificación de rumbos y buzamientos. Especialmente las areniscas de la F. Caquiaviri, (Vetas) que desarrollan Dip slopes. Los tonos más claros de las rocas que afloran en el área corresponden a los yesos diapíricos de la Formación Jalluma (Y). En la Formación Pando (P) se observa un horizonte de Yesos (Py) en el que se puede apreciar el rumbo y buzamiento. En las intercalaciones de lutitas, arcillas y areniscas de la Formación Ballivián (Ramos) (B) la identificación de rumbos y buzamientos presenta mayor dificultad.

FALLAS GEOLOGICAS Truncamiento y convergencia de estratos, interrupción de estructuras, presencia de yesos de origen diapírico, lineamientos constituyen criterios importantes para considerar la presencia de varias fallas. (W)

INVERSAS Si **NORMALES** Sí **DE RUMBO** Sí

TRANSVERSALES Sí **LONGITUDINALES** Sí **SOBRESCURRIMIENTOS** Sí

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA Sí

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS Yacimiento de Cobre más importante de Bolivia.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Se observan dos a tres superficies poligénicas (mixtas de erosión y deposición) (S). Existen remanentes de depósitos aluviales antiguos, ocupando en el relieve posiciones más elevadas que los actuales depósitos aluviales.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas, profundización de valles

ACUMULACION FLUVIAL Depósitos recientes ríos, abanicos aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonales- Lineamientos.

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 96

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 28606 **FAJA DE VUELO** 330

MISION VUELO 167 **FECHA DE TOMA** 05/28/56 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Tiwanacu **ELEVACION** 3838 Mts.

PROVINCIA Ingavi **COORDENADAS** Lg. 68/41W Lt.16/33S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Tiwanacu - 5844

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-03 1:100.000.- 5844 1:50.000.- II 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Conglomerados poco consolidados con clastos medianos y uniformes

EDAD GEOLOGICA Terciario

FORMACION GEOLOGICA Taraco (T)

ESTRUCTURA GEOLOGICA Por la reducida extensión de afloramientos y la difícil identificación del rumbo y buzamiento de los conglomerados, no es factible realizar el análisis estructural correspondiente.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** Sí **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION No es posible observar la estratificación.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS



CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La acción de los procesos fluviales, lacustres y el lavado de manto han predominado en el modelado del paisaje. Se observa el desarrollo de Pedimentos.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Las formas debidas a los procesos fluviales, se hallan bien distribuidas en el área.

EROSION FLUVIAL Intensa - Terrazas **ACUMULACION FLUVIAL** Abanicos aluviales

LACUSTRE Depósitos arcillosos **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico - Meándrico -

TEXTURA DE DRENAJE Media en conglomerado **DENSIDAD DE DRENAJE** Media en conglomerados

DISEÑO DE TONO **TEXTURA DE TONO** Media

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** Tonal

OBSERVACIONES La anomalía tonal de tono oscuro (H) alineado a lo largo de los bordes de los abanicos aluviales, sugieren zonas de mayor concentración de humedad y pequeñas filtraciones de agua. Desde el punto de vista arqueológico se puede observar las ruinas de Tiwanacu, especialmente la colina de Akapana (Z), que se halla rodeado por un tono blanco (N) que puede corresponder a arcillas, como depósitos de una laguna o cuerpo de agua que rodeaba a dicha colina y que posiblemente corresponde a una construcción artificial. Lo mismo ocurre con el sistema líneas de agua, de registro de tono oscuro (W) que en forma rectangular rodea a la indicada colina. Se observan otras dos colinas cuya forma también sugiere construcciones artificiales (K).

MODELO ESTEREOSCOPICO 97

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 11895 **FAJA DE VUELO** 10

MISION VUELO 74 **FECHA DE TOMA** 09/04/64 **PLAN DE VUELO** Kusera

LUGAR DE TOMA Muyupampa - Serranía de Incahuasi **ELEVACION** 1425 Mts.

PROVINCIA Cordillera **COORDENADAS** Lg. 63/44W Lt. 19/54S

DEPARTAMENTO Santa Cruz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-14 1:100.000.- 6834 1:50.000.- II 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternancia areniscas friables, conglomerados y arcillas-Areniscas

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cretácico - Triásico - Carbonífero.

UNIDAD GEOLOGICA Grupos Chaco - Tacuru - Cuevo - Mandiyuti

ESTRUCTURA GEOLOGICA En el área de estereoscopía, se observa el flanco Oeste de un anticlinal fallado, ubicado en la serranía de Incahuasi. En la alternancia de areniscas friables con arcillas, y conglomerados del grupo Chaco (CH) se observa un pliegue sinclinal.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Sí **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION En las rocas del grupo Mandiyuti, (Formaciones Scarpment, San Telmo, (S)) se puede identificar con facilidad rumbos y buzamientos, debido a los dip slopes que desarrollan los bancos arenosos de estas formaciones. Lo mismo ocurre con las areniscas de la Formación Cangapi. Por el contrario en la alternancia de areniscas friables, conglomerados y arcillas del grupo Chaco, la identificación del rumbó y buzamiento presenta dificultades, y es necesario acudir a algunas características morfológicas y de drenaje.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La expresión morfológica del área refleja un control muy marcado que ejerce el tipo de roca y la estructura. Se observa alternancia de valles y serranías, cuyas expresiones son más fuertes cuanto más resistente es la roca. En el grupo Chaco, por la uniformidad en la resistencia a la erosión, el relieve desarrollado es muy suave, ondulado, con colinas algo redondeadas y uniformes en elevación. Por el contrario los grupos Mandiyuti y Cuevo, con sus formaciones Escarpment y Cangapi desarrollan un paisaje caracterizado por serranías homoclinales continuas y con marcados Dip slopes o pendientes estructurales.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los procesos de erosión y acumulación son importantes, especialmente los de acumulación en áreas cercanas a Muyupampa donde se puede observar profundización de los depósitos dejados por los ríos, con desarrollo de terrazas.

EROSION FLUVIAL Terrazas **ACUMULACION FLUVIAL** Llanuras aluviales

LACUSTRE **EOLICO** Depósitos eólicos

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Regionalmente parrilla - Dendrítico local en grupo Chaco

TEXTURA DE DRENAJE Fina en grupo Chaco **DENSIDAD DE DRENAJE** Alta en grupo Chaco

DISEÑO DE TONO Bandeado **TEXTURA DE TONO** Suave en grupo Chaco

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** Lineamiento (L)

OBSERVACIONES La secuencia estratigráfica de esta área que corresponde al Subandino, actualmente está siendo estudiada en mayor detalle, debido a ello se van realizando algunas modificaciones con relaciones a su posición estratigráfica. Ejemplo la Formación Cangapi, que en principio fué mapeada como Cretácica, posteriormente se le asignó edad Triásica, actualmente se la empieza a considerar de edad Pérmica.


Ch
N.M.

MODELO ESTEREOSCOPICO 98

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 6611 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO 42 **FECHA DE TOMA** 05/04/64 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Rancho Pockera- Sur de Ubina **ELEVACION** 4000 Mts.

PROVINCIA Quijarro **COORDENADAS** Lg. 66/24W Lt. 20/38S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Ubina - 6332

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SF-19-4 1:100.000.- 6332 1:50.000.- III 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Alternancia lutitas, areniscas - Areniscas, conglomerados - Arcillas - Calizas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Ordovícico (O) - Yura (Condo) (K) - Aroifilla (R) - Chaunaca (H) - El Molino (M) - Santa Lucía (S) - Potoco (T)

ESTRUCTURA GEOLOGICA El área muestra complicaciones estructurales, relacionadas con direcciones de plegamiento diferentes en las rocas de edad Ordovícica (O), Cretácica y Terciaria (T). Se podría considerar la posibilidad de la existencia de interferencia de estructuras. Tanto en el Ordovícico como en el Cretácico se observan varios pliegues menores con rumbos diferentes.

ANTICLINAL Sí **SINCLINAL** Sí **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las rocas del Cretácico se hallan bien estratificadas, especialmente las calizas de la Formación El Molino (M), que muestran un buen desarrollo de Dip slopes. En las rocas del Ordovícico la identificación del rumbo y buzamiento no es sencilla. La Formación Potoco (T) muestra estratificación horizontal.

FALLAS GEOLOGICAS El truncamiento, convergencia y desplazamiento de estratos, interrupción de estructuras, alineamiento del río principal, pueden ser criterios para considerar la presencia de fallas.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Sí **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA Ordovícico - Cretácico - Terciario

INTRUSIONES

VULCANISMO


NM

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Los diferentes tipos de litología y estructura, controlan las características morfológicas del área.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Profundización de valles - Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos aluviales - Llanuras aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo - Dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO Bandeado - Amigdoidal

TEXTURA DE TONO Suave en lutitas

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 99

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 10331 **FAJA DE VUELO** 22

MISION VUELO 65 **FECHA DE TOMA** 07/20/64 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Estancia Torre Falda-E de Chilcobija **ELEVACION** 3600 Mts.

PROVINCIA Sud Chichas **COORDENADAS** Lg. 66/02W Lt. 21/23S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SF-19-8 1:100.000.- 6329 1:50.000.- I 1:25.000: NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Conglomerados - Alternancia areniscas, lutitas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA Por los reducidos afloramientos de las rocas del Ordovícico (O) y la dificultad en la identificación de rumbos y buzamientos, tanto en las rocas del Terciario (T) como Ordovícicas, no es posible realizar la interpretación estructural.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION El objeto principal de este modelo, es mostrar como algunos criterios para la identificación de los conglomerados, pueden variar de acuerdo a las características texturales de sus clastos y cemento. En este caso pareceía que el contenido de arcillas define un diseño de drenaje dendrítico y una expresión morfológica más suave. Compare con los modelos 4, 5, 20, 32, 33, 35, 39, 41, 46, 48, 55, 68, 72, 74,.93, 94, 95, 96, 97, 97, 100. La densidad de drenaje puede ser un criterio muy útil en este modelo para diferenciar a las lutitas y areniscas del Ordovícico con los conglomerados Terciarios (T) que aparentemente muestran una apariencia muy similar en la fotografía aérea.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Las características texturales del conglomerado definen una expresión morfológica más suave que las rocas del Ordovícico.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Depósitos aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítica

TEXTURA DE DRENAJE Fina

DENSIDAD DE DRENAJE Alta

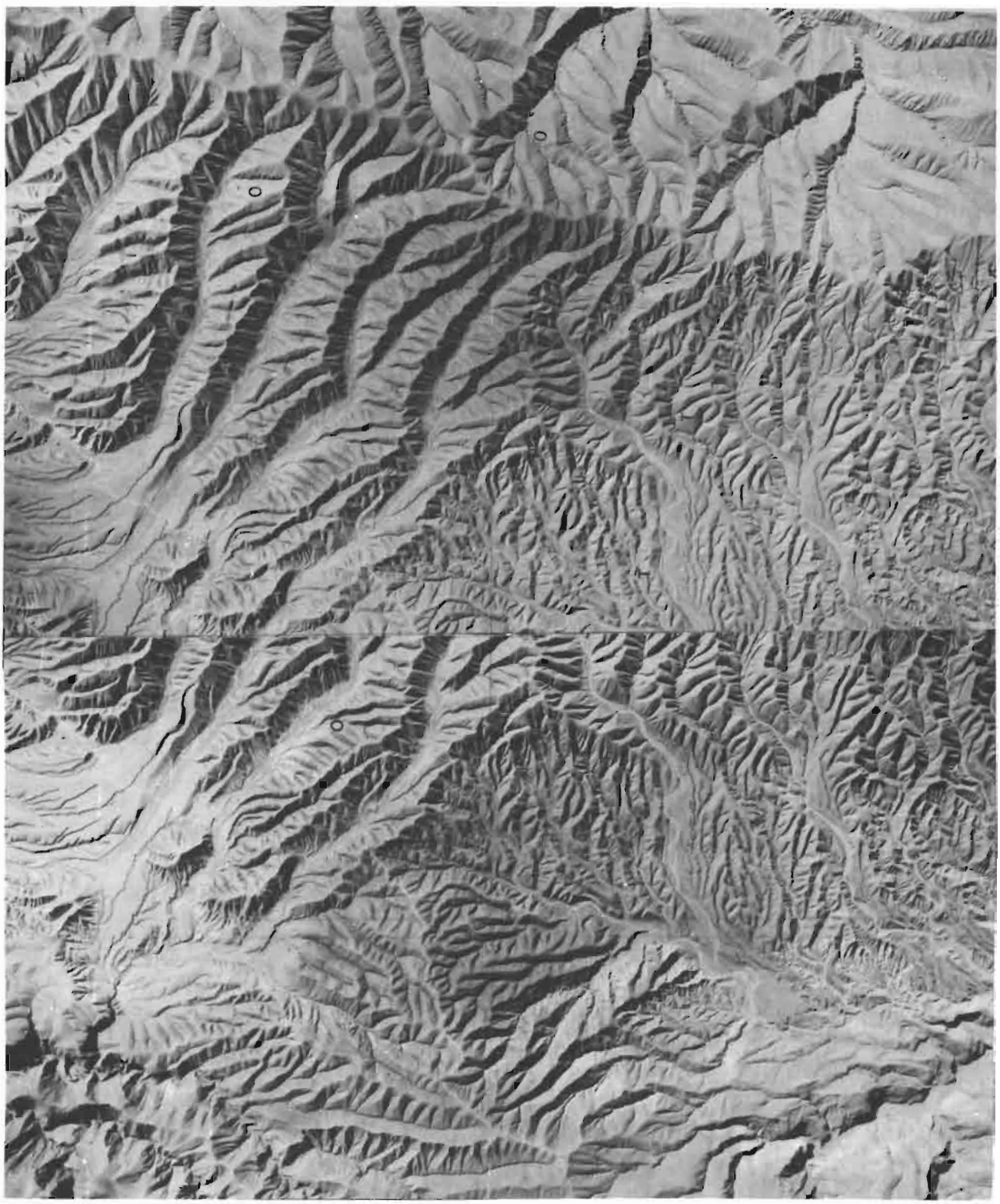
DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 100

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 28171 **FAJA DE VUELO** 327

MISION VUELO 23 **FECHA DE TOMA** 08/27/55 **PLAN DE VUELO** Hykon

LUGAR DE TOMA Pampa Chijipata - Laguna Tarcocota **ELEVACION** 4000 Mts.

PROVINCIA Ingavi **COORDENADAS** Lg. 68/38W Lt. 16/53

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA Jesús de Machaca - 5843

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-3 1:100.000.- 5843 1:50.000.- II 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Conglomerado poco consolidado (T)

EDAD GEOLOGICA Terciario

FORMACION GEOLOGICA Topohoco

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION No es posible observar rumbo y buzamiento.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS



CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Por la uniformidad y poca resistencia a la erosión de este tipo de rocas, el relieve es suave, ondulado, con desarrollo de colinas redondeadas y crestas más largas casi paralelas que podrían sugerir el rumbo de la estratificación.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas - Valles profundizados

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos aluviales - Llanuras aluviales

LACUSTRE Depósitos lacustres.

EOLICO Sí

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Fina

DENSIDAD DE DRENAJE Alta

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 101

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 13445 **FAJA DE VUELO** 307

MISION VUELO 79 **FECHA DE TOMA** 06/19/55 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Curahuara de Carangas **ELEVACION** 4043 Mts.

PROVINCIA Carangas **COORDENADAS** Lg. 68/22W Lt 17/53S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-7 1:100.000.- 5940 1:50.000.- III 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Ignea extrusiva **ALTERACION** Sí

CLASE DE ROCA Conglomerados - Arcillas yesíferas - Areniscas, arcillas - Basalto

EDAD GEOLOGICA Terciario

FORMACION GEOLOGICA Grupo Umala - Crucero - Totora

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observan estructuras plegadas, limitadas hacia el Este por una falla inversa longitudinal regional que pone estratos de la Formación Totora (T) sobre las arcillas y conglomerados del Grupo Umala (U) y la alternancia de areniscas y lutitas de la Formación Crucero (C).

ANTICLINAL Sí **SINCLINAL** Sí **HOMOCLINAL** Sí **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION La estratificación de las tres formaciones es muy visible. Al Sur y Este de Curahuara de Carangas se observa que los conglomerados (N), arcillas y areniscas del Grupo Umala se hallan casi horizontales. Mientras que en el borde NE del modelo, las rocas de la Formación Crucero y Totora, se hallan casi verticales.

FALLAS GEOLOGICAS Lineamientos, convergencia de estratos, y criterios estratigráficos sugieren la presencia de una gran falla longitudinal inversa (L) que pone estratos de la Formación Totora sobre la Formación Crucero y Grupo Umala.

INVERSAS Sí **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Sí **LONGITUDINALES** Sí **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO** Marcado en conglomerados (N)

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO Se observa una cerro aislado de forma cónica, que podría sugerir la presencia de un cono volcánico.

Sin embargo se trata de efectos de la erosión en un encape de basaltos (B), que corresponde posiblemente a coladas de lava basáltica

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Se observan más de dos niveles de superficies de erosión poligenéticas (erosión y deposición) (S). El relieve esta controlado por la estratificación y litología. En la parte sur del modelo se puede apreciar un paisaje de mesas y mesetas, mientras que en la parte central un relieve muy suave casi plano y al Norte la erosión sobre los estratos verticales define serranías angostas pero contínuas que coinciden con el rumbo de la estratificación.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Profundización valles - Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Llanuras aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEñO DE DRENAJE Complejo - Dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Fina en arcillas Umala

DENSIDAD DE DRENAJE Alta en arcillas Umala

DISEñO DE TONO Bandeado y amigdoidal en sectores

TEXTURA DE TONO Aspera en conglomerados (N)

DISEñO DE VEGETACION

ANOMALIAS Forma

OBSERVACIONES Observe que en la Formación Umala, ubicada al este de la anomalía geomórfica (Cerro de forma cónica) entre la alternancia de arcillas y conglomerados, se obervan tonos blancos bien marcados, que podrían corresponder a niveles intercalados de tobas.



MODELO ESTEREOSCOPICO 102

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 2699 B **FAJA DE VUELO** 38

MISION VUELO 27 **FECHA DE TOMA** 09/27/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA La Palca - Cayara - Santa Lucía **ELEVACION** 3580 Mts.

PROVINCIA Tomas Frías **COORDENADAS** Lg. 65/50W Lt. 19/33S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Potosí - 6435

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-13 1:100.000.- 6435 1:50.000.-III 1:25.000.- NE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION** Sí

CLASE DE ROCA Areniscas-Calizas-Arcillas-Alternancia arcillas, lutitas

EDAD GEOLOGICA Ordovícico - Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Toda la secuencia del Cretácico

ESTRUCTURA GEOLOGICA Se observa una estructura sinclinal, cuyo flanco Este muestra el desarrollo completo de las Formaciones del Cretácico. El flanco Oeste de la estructura se halla fallado, y cortado por un cuerpo intrusivo, que en el modelo sólo se puede apreciar un reducido afloramiento ubicado en el borde NW del modelo.(Z)

ANTICLINAL **SINCLINAL** Sí **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Rumbos y buzamientos se identifican con facilidad en la mayoría de las Formaciones, especialmente en las Formaciones La Puerta (P), Tarapaya (T), Miraflores (M), El Molino (Mo), Santa Lucía (S) y Cayara (Y). El modelo permite obtener una buena relación para realizar la comparación entre la expresión que muestran las diferentes rocas de la secuencia Cretácica. Desarrollo de Dip slopes son característicos en las formaciones El Molino y Miraflores. En las arcillas de las formaciones Aroifilla (Ar) y Chaunaca (C) la identificación de rumbos y buzamientos es más difícil.

FALLAS GEOLOGICAS En el modelo se puede inferir la existencia de una falla en el flanco Oeste del sinclinal, por el truncamiento que ese flanco muestra y el alineamiento del río.

INVERSAS Sí **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Sí **LONGITUDINALES** Sí **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO** En areniscas

DISCORDANCIA Ordovícico - Cretácico - (Formación El Molino - F. Chaunaca)

INTRUSIONES Sí



CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El rumbo y buzamiento de los estratos y la litología controlan el desarrollo del paisaje, caracterizado por una alternancia de serranías y valles homoclinales. Al oeste se observa depósitos coluviales y aluviales, que han sido posteriormente disectados desarrollàndo en algunos casos terrazas. Son formas complejas de origen poligenético.

FLUVIAL La acción fluvial ha sido muy importante en el sector NW del modelo.

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos y llanuras aluviales

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo- Parrilla- Dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Variable

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamiento

OBSERVACIONES La zona corresponde al lugar tipo de la secuencia estratigráfica del Cretácico. A objeto de no confundir en la designación de las Formaciones del Cretácico, que en la actualidad están siendo en algunos casos redefinidas y/o modificadas en edad, se prefiere presentar la descripción de acuerdo a la original descripción de esta secuencia hecha por Lohman y Branisa, modificando la edad de la Formación Santa Lucía.

TERCIARIO

Cayara (Y) = Areniscas, arcillas

Santa Lucía (S) = Arcillas y areniscas

CRETACICO

El Molino (Mo) = Calizas, areniscas, alternancia arcillas, margas y calizas

Chaunaca (C) = Arcillas

Aroifilla (Ar) = Arcillas

Miraflores (M) = Calizas

Tarapaya (T) = Arcillas y areniscas

La Puerta (P) = Areniscas

Para un estudio más detallado de la estratigrafía del Cretácico y Terciario se sugiere consultar los últimos trabajos publicados entre 1987 y 1990.

MODELO ESTEREOSCOPICO 103

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 02631 B **FAJA DE VUELO** 37

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 09/01/61 **PLAN DE VUELO** Hércules I

LUGAR DE TOMA Anta-Cerro Pahua-SW de Sevaruyo **ELEVACION** 4000 Mts.

PROVINCIA Avaroa **COORDENADAS** Lg. 66/57W Lt. 19/25S

DEPARTAMENTO Oruro **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Sevaruyo - 6235

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-16 1:100.000.- 6235 1:50.000.-IV 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Calizas - Areniscas - Arcillas y lutitas

EDAD GEOLOGICA Cretácico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Referencias en Observaciones

ESTRUCTURA GEOLOGICA Localmente corresponde a una estructura homoclinal, buzando hacia el SW.

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** Sí **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las rocas se hallan bien estratificadas, especialmente las calizas (P) de la Formación Pahua, que presenta Dip slopes bien desarrollados.

FALLAS GEOLOGICAS Por criterios estratigráficos, y buzamientos de las rocas de edad Terciaria con relación a las areniscas de la Formación Orinoca, se puede inferir la presencia de una falla inversa entre estos dos tipos de rocas.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Sí **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA Cretácico - Terciario

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Morfológicamente se caracteriza por presentar una alternancia de serranías y valles homoclinales, de reducida extensión, rodeada por depósitos fluviales y lacustres recientes.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Depósitos aluviales, abanicos aluviales

LACUSTRE Terrazas lacustre

EOLICO Sí

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Baja

DISEÑO DE TONO Bandeada

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES Este afloramiento de rocas de edad Cretácica y Terciaria se halla ubicado en la parte central del Altiplano boliviano. Los mapas geológicos publicados de la zona, utilizan nombres formacionales locales para designar a las rocas del Cretácico, que son diferentes a los utilizados para los afloramientos de las mismas rocas en otras regiones del país (Cordillera de los Andes) La equivalencia o correlación aproximada se describe de manera muy general y adecuada a los fines del texto.

TERCIARIO

Formación Chamarra (H) = Areniscas y conglomerados

Formación Coca (T) = Lutitas yesiferas

Formación Candelaria (D) = Arcillas y lutitas = **F. Santa Lucía**

CRETACICO

Formación Pahua (P) = Calizas, areniscas, arcillas = **F. El Molino**

Formación Coroma (C) = Areniscas = **F. Chaunaca**

Formación Mulasi (M) = Arcillas y lutitas = **F. Chaunaca**

Formación Orinoca (O) = Areniscas = **F. Tarapaya F. Miraflores F. Aroifilla**


NW

MODELO ESTEREOSCOPICO 104

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 28356 **FAJA DE VUELO** 336

MISION VUELO 165 **FECHA DE TOMA** 05/20/56 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Río Zongo - Huayna Potosí **ELEVACION** 6088 Mts.

PROVINCIA Murillo - Nor Yungas **COORDENADAS** Lg. 68/08W Lt. 16/16S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-3 1:100.000.- 5945 1:50.000.- II 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea intrusiva **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Rocas de composición granítica (Granitos) (G)

EDAD GEOLOGICA Triásico - Jurásico

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Los afloramientos del área corresponden a rocas ígneas intrusivas de composición ácida. Algunas direcciones de diaclasamiento pueden ser confundidas con la estratificación en la parte NW del modelo.

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Muy marcados **DIACLASAMIENTO** Tres direcciones muy marcadas

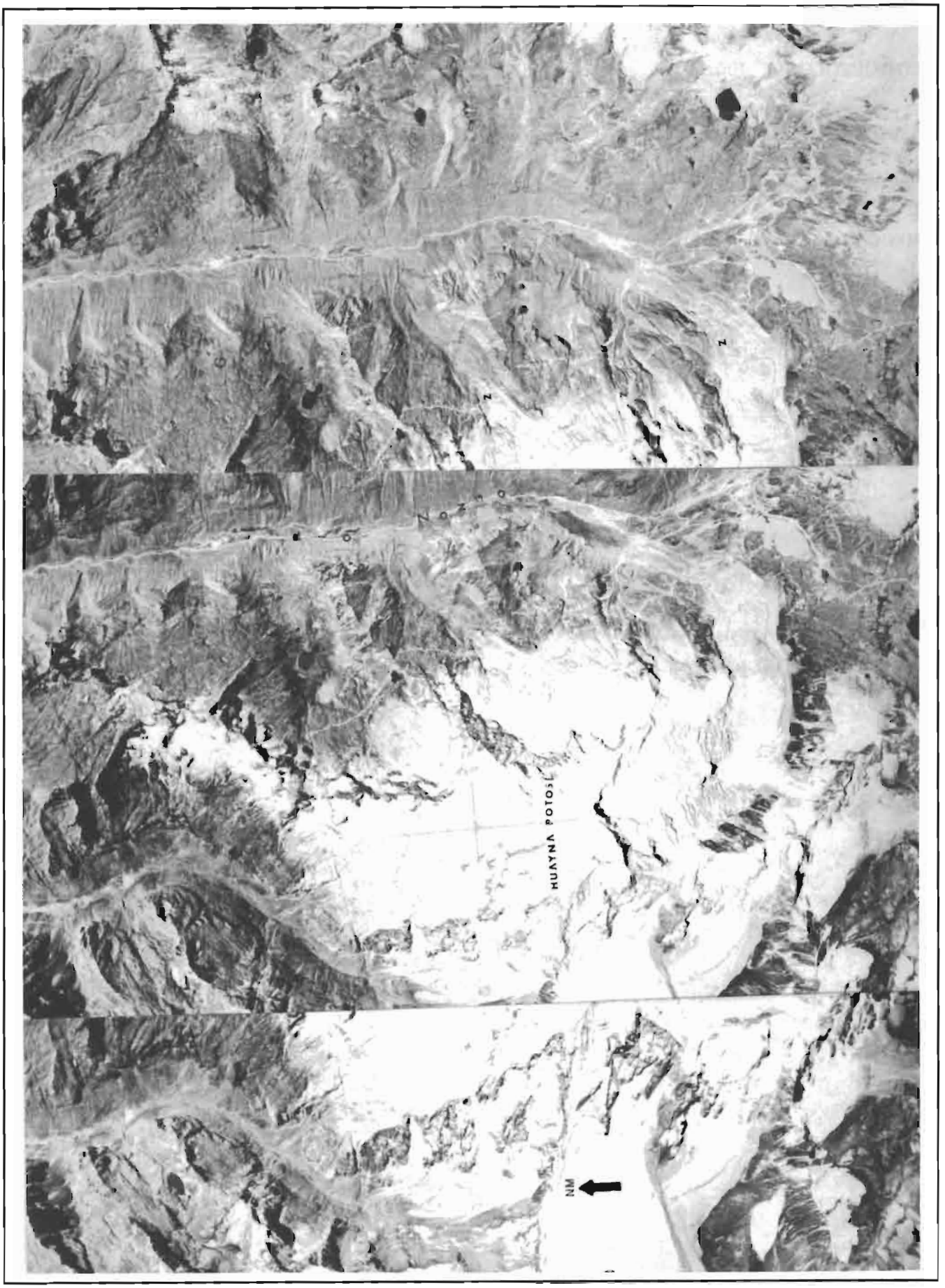
DISCORDANCIA

INTRUSIONES Batolito Chucura

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


HUAYNA POTOSI
NM

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El relieve actual es resultado de procesos de glaciación. Se observan formas debidas tanto a efectos de erosión como de deposición glaciar.

GLACIACION Las formas de glaciación debida a procesos erosivos son de mayor distribución que las debidas a deposición glaciar, las cuales se hallan muy reducidas en dimensiones y limitadas a algunos valles colgantes afluentes al valle glaciar principal, por donde fluye el actual río Zongo. El modelo muestra ejemplos de glaciares actuales en etapa de retroceso, caracterizados por una intensa merma glaciar tanto horizontal como vertical.(Z)

EROSION GLACIAL Valles - Circos

ACUMULACION GLACIAL Morrenas laterales, terminales

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los valles glaciares están siendo remodelados por procesos fluviales.

EROSION FLUVIAL

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Complejo

TEXTURA DE DRENAJE Baja

DENSIDAD DE DRENAJE Baja

DISÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 105

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 11390 **FAJA DE VUELO** 24

MISION VUELO 71 **FECHA DE TOMA** 08/11/64 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Estancia Capilla Filo- SW de Alota **ELEVACION** 4000 Mts.

PROVINCIA Nor Lípez **COORDENADAS** Lg. 67/32W Lt. 21/29S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SF-19-7 1:100.000.- 6029 1:50.000.- I 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea extrusiva **ALTERACION** Se observa

CLASE DE ROCA Lavas de composición ácida a intermedia (Ignimbritas)

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO** Muy marcado en dos direcciones

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO Las consideraciones hechas para el modelo 52, son válidas para este modelo. Las variaciones de tonos claros a gris oscuros de las lavas e ignimbritas, pueden sugerir cambios en la composición general de estas rocas.

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Se observan mesetas volcánicas de gran extensión, con cañones profundos, cortados en las ignimbritas. Las paredes son verticales, constituyendo excelentes cortes para observar la secuencia volcánica.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los efectos de la acción fluvial han sido muy importantes en la disección de la meseta, desarrollando cañones profundos y angostos.

EROSION FLUVIAL Cañones

ACUMULACION FLUVIAL Depósitos aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Rectangular

TEXTURA DE DRENAJE Media

DENSIDAD DE DRENAJE Media

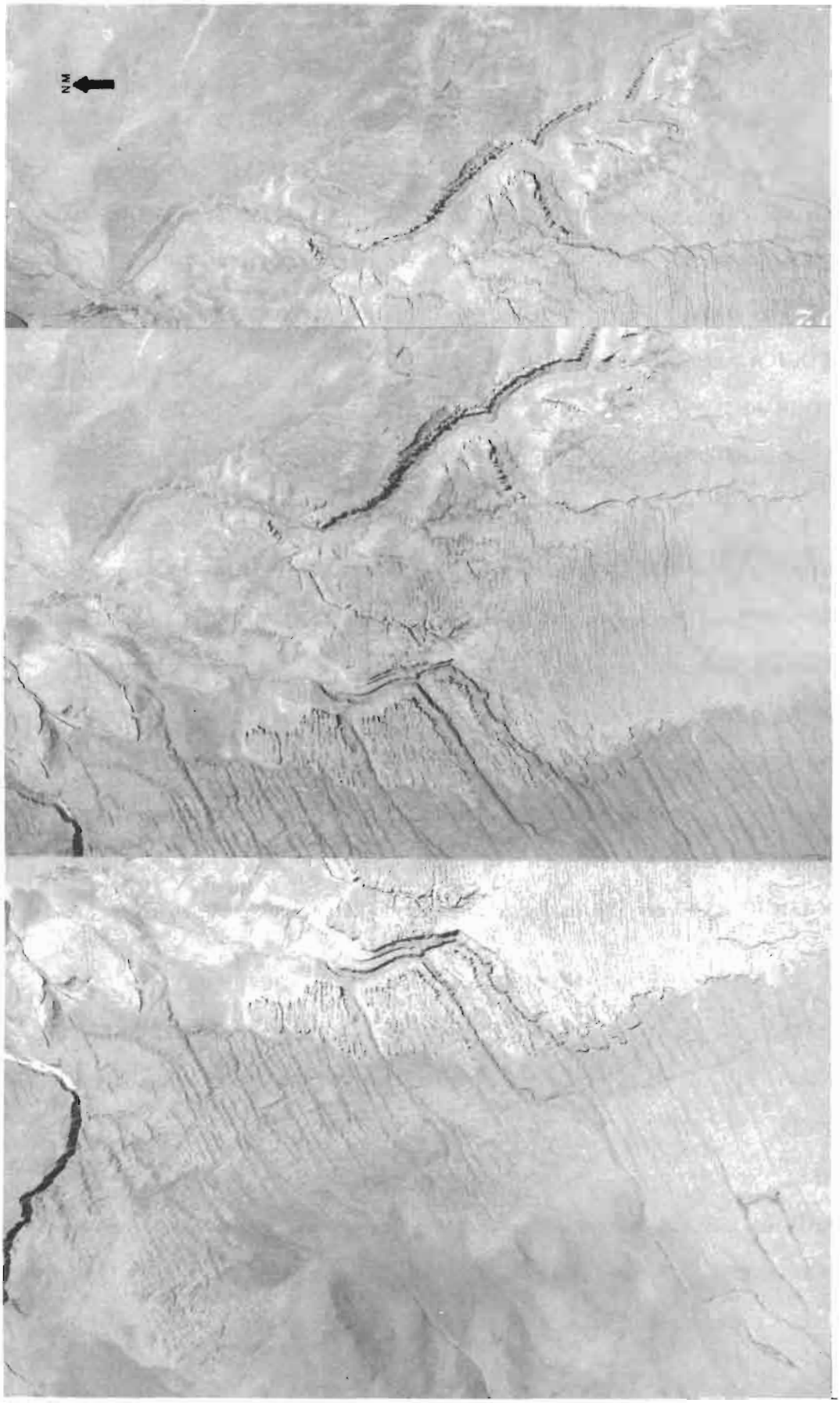
DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Aspera

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Tonal

OBSERVACIONES


N.M

MODELO ESTEREOSCOPICO 106

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 3302 **FAJA DE VUELO** 17

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/11/61 **PLAN DE VUELO** Hércules

LUGAR DE TOMA Aguas Calientes (Termas) NW de Catavi **ELEVACION** 4450 Mts.

PROVINCIA Bustillos **COORDENADAS** Lg. 66/36W Lt. 18/24S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Llallagua - 6238

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-12 1:100.000.- 6238 1:50.000.- I 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea extrusiva - Sedimentaria **ALTERACION** Muy marcada

CLASE DE ROCA Lavas de composición ácida-intermedia (Ignimbritas) - Alternancia areniscas y lutitas

EDAD GEOLOGICA Silúrico - Terciario

FORMACION GEOLOGICA Frailes, Morococala - Llallagua - Uncía

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL Sí **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Se observa en el sector NW, por el bandeamiento fino que muestran las rocas.

FALLAS GEOLOGICAS El río (Z) que muestra un marcado lineamiento, puede sugerir la presencia de una falla transversal.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Sí **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO** En dos direcciones

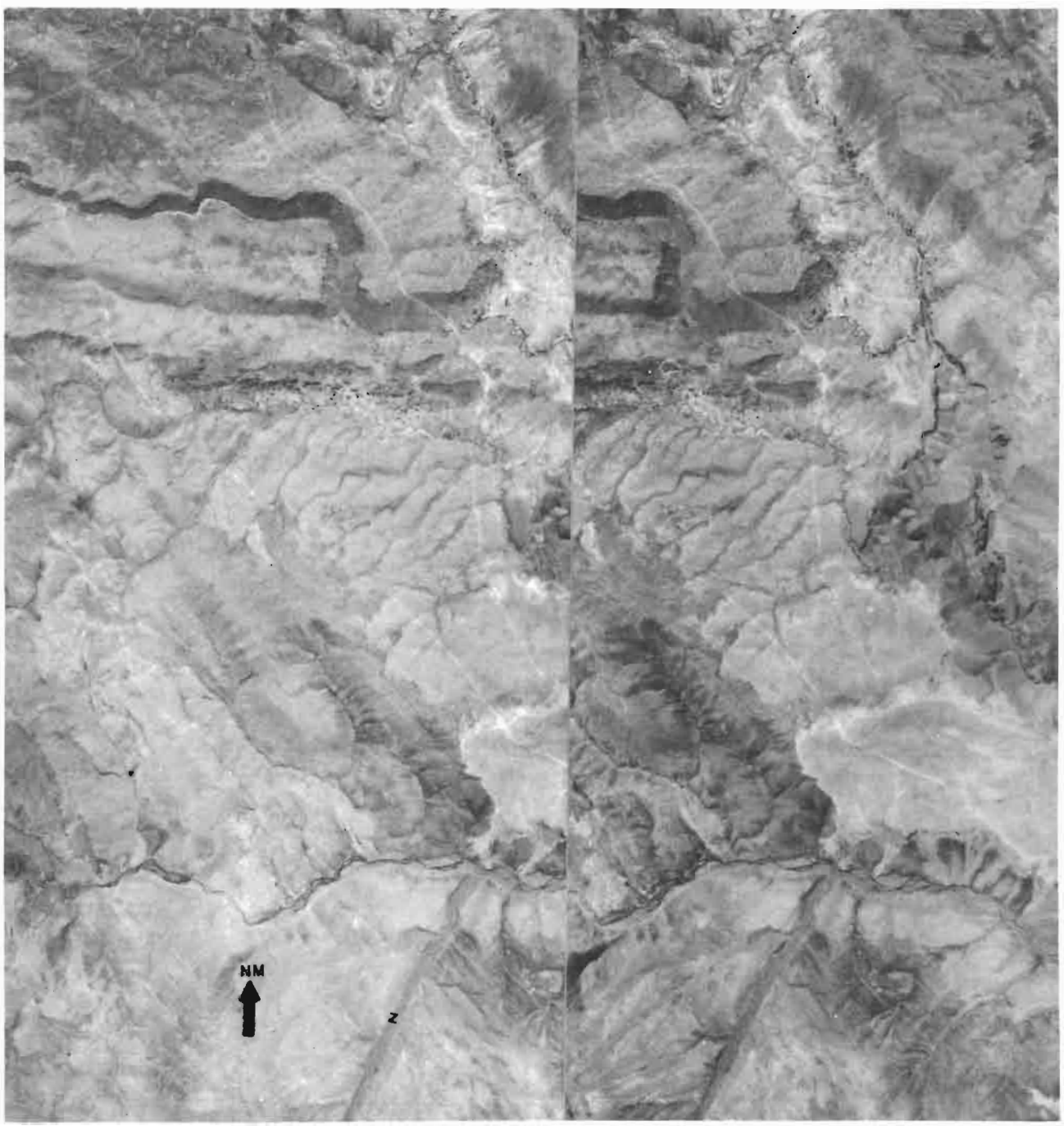
DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO Las lavas e ignimbritas, constituyen el borde extremo sur de la Meseta de Morococala.

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS Yacimientos de Estaño.


NM

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA A pesar de la erosión más intensa, se puede asignar al paisaje constituío por las ignimbritas, el correspondiente a una meseta con características algo diferentes a las mesetas más locales y de extensión reducida, de la zona de Los Lípez. La morfología cambia cuando se pasa a la zona donde afloran rocas sedimentarias de edad Silúrica y Cretácica.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los ríos han profundizado y disectado la cubierta de lavas e ignimbritas, dando lugar al desarrollo de una meseta volcánica con cañones muy profundos.

EROSION FLUVIAL Intensa

ACUMULACION FLUVIAL

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Angular en lavas - Dendrítico en rocas sedimentarias

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO Bandeado en rocas sedimentarias

TEXTURA DE TONO Aspera en roca ígnea

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Lineamiento

MODELO ESTEREOSCOPICO 107

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 6746 **FAJA DE VUELO** 11

MISION VUELO 43 **FECHA DE TOMA** 05/05/64 **PLAN DE VUELO** Kucera

LUGAR DE TOMA Cerro Kolligi - Al NW de Colcha K **ELEVACION** 5074 Mts.

PROVINCIA Nor Lípez **COORDENADAS** Lg. 67/46W Lt. 20/38S

DEPARTAMENTO Potosí **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SF-19-3 1:100.000.- 6032 1:50.000.-III 1:25.000.- SE

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Ignea extrusiva **ALTERACION** Existe

CLASE DE ROCA Lavas - tobas

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO El área corresponde a la region volcánica de la Cordillera Occidental de los Andes. Se trata de un cono volcánico muy erodado, con cráter totalmente destruido, tipo estrato volcán. En la terminal de la ladera Norte del cono, se observa algunas formas redondeadas aplandas en su tope que podría corresponder a un remanente de un encape de lavas,que por efecto de la erosión adopta esa forma. Otra posibilidad que podria considerarse para explicar esas formas, es la de asimilarlas con formas dómicas de dimensiónes pequeñas.

TIPOS DE VOLCANES Estrato volcanes - Domos?

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La expresión morfológica, corresponde a la de un cono volcánico, asociado con un drenaje radial. El cono volcánico se halla rodeado de una meseta de lavas, que en el modelo no se puede apreciar en toda su extensión y dimensión.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL Los ríos están modelando el actual relieve. La profundización y desarrollo de terrazas son procesos fluviales actuales muy característicos en el área.

EROSION FLUVIAL **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO** Sí

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

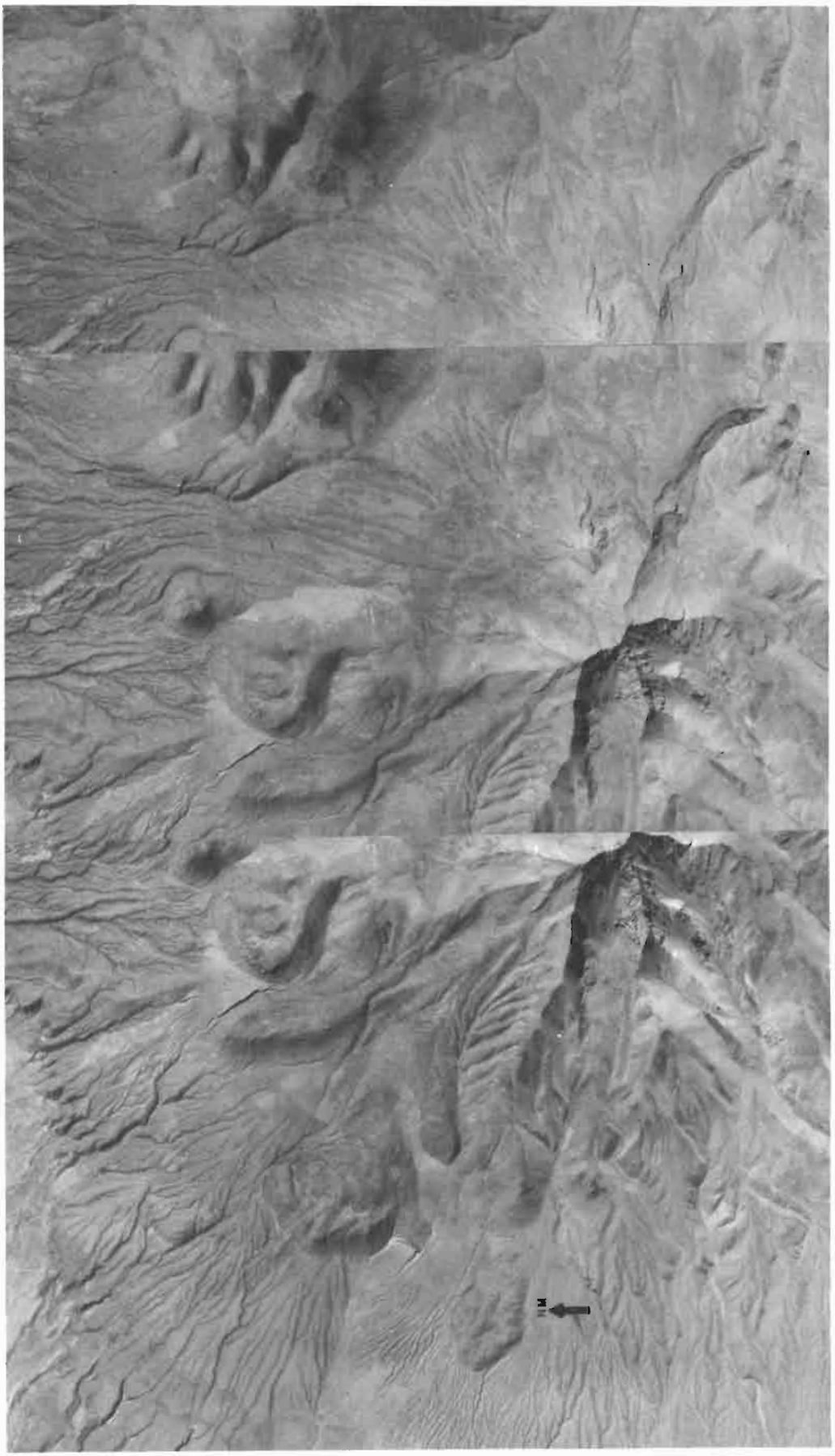
DISEÑO DE DRENAJE Radial - Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Media a fina **DENSIDAD DE DRENAJE** Alta a media

DISEÑO DE TONO **TEXTURA DE TONO** Aspera

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** Forma

OBSERVACIONES



MODELO ESTEREOSCOPICO 108

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 17 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 05/27/67 **PLAN DE VUELO**

LUGAR DE TOMA Las Petas **ELEVACION** 240 Mts.

PROVINCIA Angel Sandoval **COORDENADAS** Lg. 59/13W Lt. 16/22S

DEPARTAMENTO Santa Cruz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:40000

HOJA GEOLOGICA Las Petas - San Matías - 1:250000

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-21-01 1:100.000.- 7744 1:50.000.-I 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria - Metamórfica **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Limolitas - Filitas - Cuarcitas

EDAD GEOLOGICA Precámbrico - Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA El Puquío - Elución - Cabezas - Grupo Sunsas

ESTRUCTURA GEOLOGICA Estructura comprimida, plegada y fallada.

ANTICLINAL Sí **SINCLINAL** Sí **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Estratificación fina y bandeada. Se observa desarrollo muy leve de Dip slopes.

FALLAS GEOLOGICAS Se observan fallas longitudinales.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Sí **LONGITUDINALES** Sí **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO**

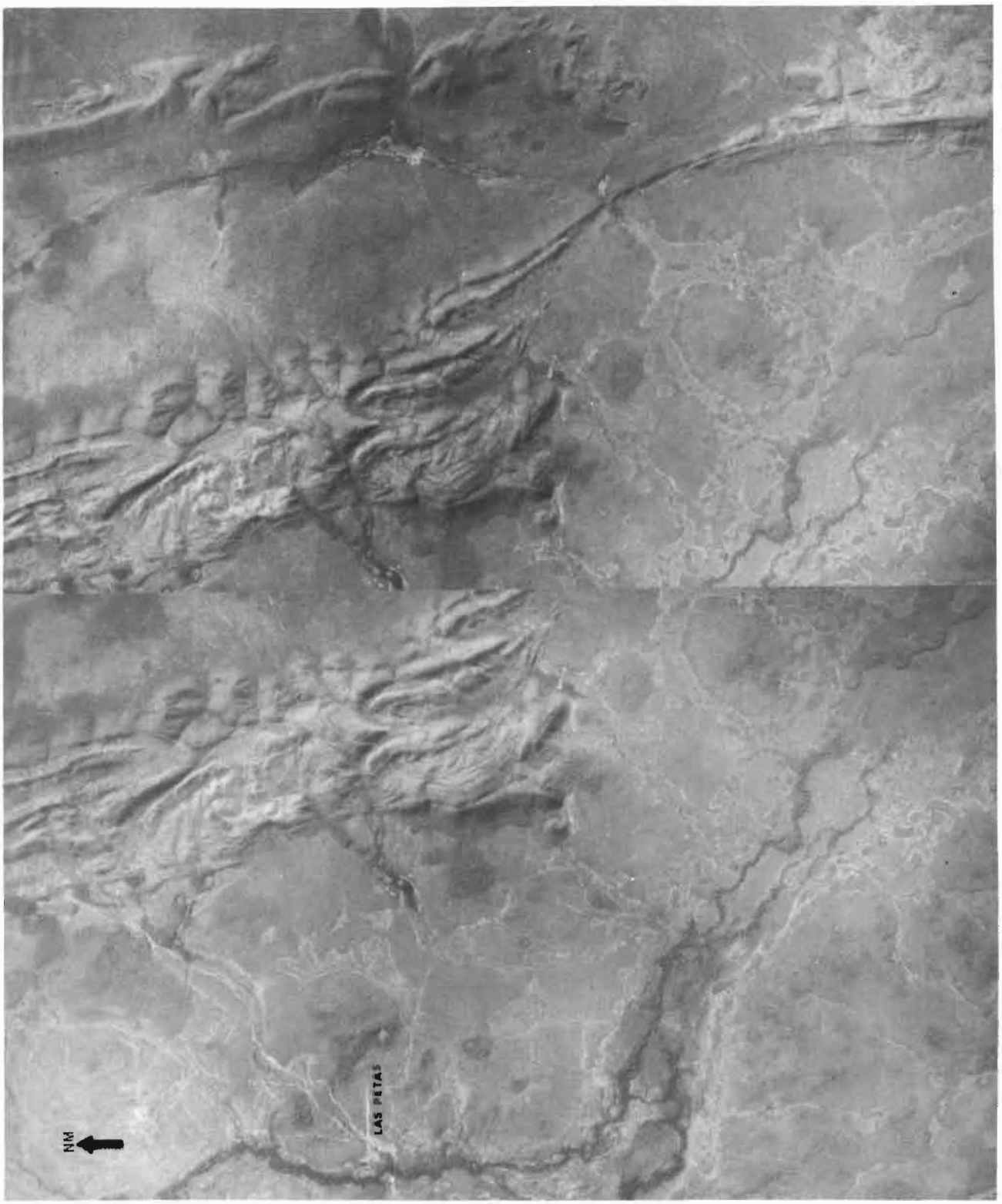
DISCORDANCIA Sí

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS


LAS PETAS
NM

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Por la resistencia a la erosión de las rocas aflorantes, el relieve que desarrollan sobresale en el paisaje, constituyendo una serranía controlada por el rumbo general de la estructura.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Presencia de Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Sí

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE

TEXTURA DE DRENAJE Gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE

DISEÑO DE TONO Bandeado

TEXTURA DE TONO Suave a intermedia

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS

OBSERVACIONES

MODELO ESTEREOSCOPICO 109

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 21 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 05/25/67 **PLAN DE VUELO**

LUGAR DE TOMA La Fortuna- Ascensión- El Puquío **ELEVACION** 240 Mts.

PROVINCIA Angel Sandoval **COORDENADAS** Lg. 59/28W Lt.16/17S

DEPARTAMENTO Santa Cruz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:50000

HOJA GEOLOGICA Las Petas - San Matías - 1:250000

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-21-1 1:100.000.- 7644 1:50.000.- IV 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria, Metamórfica **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Limolitas, Conglomerados, Pizarras, Cuarcitas, Gneis

EDAD GEOLOGICA Precámbrico - Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA Grupo Sunsas - Ascención - Cabezas

ESTRUCTURA GEOLOGICA Estructura sinclinal fallada.

ANTICLINAL **SINCLINAL** Sí **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION La diferencia en la resistencia a la erosión entre los tres tipos de roca, permite el desarrollo de Dip slopes bien marcados, con valores bajos de buzamiento (15 - 30 grados)

FALLAS GEOLOGICAS La estructura sinclinal se halla afectada por fallas longitudinales y transversales de reducida longitud, circunscritas solo a la estructura.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES Sí **LONGITUDINALES** Sí **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA La resistencia a la erosión de las rocas aflorantes, controla al paisaje, adquiriendo un relieve que sobresale del resto del área, formando escarpes bien acentuados en las serranías.

GLACIACION

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL Profundización y Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Acumulación en los ríos actuales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico, dendrítico Tenaza

TEXTURA DE DRENAJE Media a gruesa

DENSIDAD DE DRENAJE Media

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Drenaje

OBSERVACIONES


NM
ASCENCION
LA FORTUNA
BRASIL
LA FORTUNA
BOLIVIA

MODELO ESTEREOSCOPICO 110

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 336 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/01/75 **PLAN DE VUELO** SNF - FAB

LUGAR DE TOMA Parte NW de la ciudad de La Paz **ELEVACION** 3850 Mts.

PROVINCIA Murillo **COORDENADAS** Lg. 68/08W Lt. 16/26S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox. 1:80000

HOJA GEOLOGICA La Paz - 5944

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-19-3 1:100.000.- 5944 1:50.000.- I 1:25.000.- SW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Lutitas, arcillas, conglomerados poco consolidados, gravas

EDAD GEOLOGICA Terciario - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA La Paz - Calvario - Pura Purani - Sorata

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS La descripción realizada para el modelo estereoscópico No 67, es válida para este modelo. En la comparación se debe tener en cuenta las diferentes escalas de ambas fotografías.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENT0**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS



CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA Las características geomorfológicas corresponden a las del modelo 67.

GLACIACION Por razones de escala, en este modelo los procesos de glaciación y fluvioglaciares pueden ser mejor apreciados y comprendidos desde el punto de vista regional, por tratarse de una escala más pequeña.

EROSION GLACIAL

ACUMULACION GLACIAL

FLUVIO GLACIAL Depósitos de gran espesor

FLUVIAL Por tratarse de una escala más pequeña, las formas producidas por los procesos fluviales, pueden ser mejor comprendidas, desde el punto de vista regional, aunque el detalle individual de las formas que se observa, tales como valle en valle, abanicos aluviales y terrazas aluviales es mejor apreciada en los modelos 67 y 74.

EROSION FLUVIAL Valle en valle (P) - Terrazas

ACUMULACION FLUVIAL Abanicos aluviales

LACUSTRE

EOLICO

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Dendrítico

TEXTURA DE DRENAJE Variable

DENSIDAD DE DRENAJE Variable

DISEÑO DE TONO

TEXTURA DE TONO Suave

DISEÑO DE VEGETACION

ANOMALIAS Forma

OBSERVACIONES Comparar con los modelos estereoscópicos 67 y 74.

MODELO ESTEREOSCOPICO 111

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 4635 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** 08/25/86 **PLAN DE VUELO** SNF - FAB

LUGAR DE TOMA Angosto de Santa Rosa- Río Grande **ELEVACION** 1400 Mts.

PROVINCIA Campero **COORDENADAS**

DEPARTAMENTO Cochabamba **ESCALA DE LA FOTO** 1:40000

HOJA GEOLOGICA Vallegrande - 1:250000

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SE-20-10 1:100.000.- 6737 1:50.000.- IV 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas - Lutitas - Alternancia areniscas y lutitas

EDAD GEOLOGICA Silúrico - Devónico

FORMACION GEOLOGICA Santa Rosa - Icla

ESTRUCTURA GEOLOGICA Estructura anticlinal con hundimiento. El núcleo se halla constituído por areniscas de la Formación Santa Rosa (S). Ambos flancos se hallan afectados por fallas longitudinales (F).

ANTICLINAL Sí **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION Las areniscas de la Formación Santa Rosa se hallan bien estratificadas. (S). El rumbo y buzamiento puede ser identificable en el corte del río, donde la estructura anticlinal se hunde.

FALLAS GEOLOGICAS Fallas longitudinales ubicadas en los flancos de la estructura, pueden ser inferidas por los lineamientos que muestran (F). Se observa una falla transversal con gran desplazamiento vertical ubicada a lo largo del río principal, que en ese sector se halla muy estrecho y profundo (U). A ambos lados de la falla, se puede apreciar un cambio en la litología.

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** Sí **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS Sí **DIACLASAMIENTO** En areniscas

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El río principal puede corresponder a un ejemplo de sobreimposición o antecedencia de ríos.

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL El proceso de profundización de los valles es muy activo.

EROSION FLUVIAL **ACUMULACION FLUVIAL** Llanuras aluviales

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE Parrilla con dendrítico local

TEXTURA DE DRENAJE Media a fina **DENSIDAD DE DRENAJE** Media a alta

DISEÑO DE TONO Bandeado **TEXTURA DE TONO** Aspera en areniscas

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS** De drenaje



MODELO ESTEREOSCOPICO 112

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 00122 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO **FECHA DE TOMA** **PLAN DE VUELO**

LUGAR DE TOMA **ELEVACION** Mts.

PROVINCIA **COORDENADAS**

DEPARTAMENTO **ESCALA DE LA FOTO**

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- 1:100.000.- 1:50.000.- 1:25.000.-

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA **ALTERACION**

CLASE DE ROCA

EDAD GEOLOGICA

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS



CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO**

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

DISEÑO DE DRENAJE

TEXTURA DE DRENAJE **DENSIDAD DE DRENAJE**

DISEÑO DE TONO **TEXTURA DE TONO**

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS**

OBSERVACIONES Modelo estereoscópico preparado con fotografías Infrarrojo Blanco y Negro. La cantidad de información geológica que se puede obtener se halla en función del Relieve y la cubierta de vegetación. En este modelo, por el relieve plano y la cubierta de vegetación no es posible obtener gran información sobre las características geológicas del área.

MODELO ESTEREOSCOPICO 113

DATOS GENERALES

NUMERO FOTOGRAFIA AEREA 29012 **FAJA DE VUELO**

MISION VUELO 169 **FECHA DE TOMA** 08/09/69 **PLAN DE VUELO** Hycon

LUGAR DE TOMA Ancoraimes - Lago Titicaca **ELEVACION** 4050 Mts.

PROVINCIA Omasuyos **COORDENADAS** Lg. 68/42W Lt.15/40S

DEPARTAMENTO La Paz **ESCALA DE LA FOTO** Aprox.1: 50000

HOJA GEOLOGICA

HOJAS TOPOGRAFICAS

ESCALAS 1:250.000.- SD-19-15 1:100.000.- 5846 1:50.000.-I 1:25.000.- NW

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

TIPO DE ROCA Sedimentaria **ALTERACION**

CLASE DE ROCA Areniscas -

EDAD GEOLOGICA Carbonífero - Cuaternario

FORMACION GEOLOGICA

ESTRUCTURA GEOLOGICA

ANTICLINAL **SINCLINAL** **HOMOCLINAL** **DIAPIROS**

ESTRATIFICACION

FALLAS GEOLOGICAS

INVERSAS **NORMALES** **DE RUMBO**

TRANSVERSALES **LONGITUDINALES** **SOBRESCURRIMIENTOS**

LINEAMIENTOS **DIACLASAMIENTO**

DISCORDANCIA

INTRUSIONES

VULCANISMO

TIPOS DE VOLCANES

YACIMIENTOS

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

GEOMORFOLOGIA El propósito de este modelo es mostrar un área afectada por procesos eólicos, en la que predominan dunas transversales moviles muy erosionadas (D).

GLACIACION

EROSION GLACIAL **ACUMULACION GLACIAL**

FLUVIO GLACIAL

FLUVIAL

EROSION FLUVIAL **ACUMULACION FLUVIAL**

LACUSTRE **EOLICO** Dunas transversales

CARACTERISTICAS FOTOGEOLOGICAS

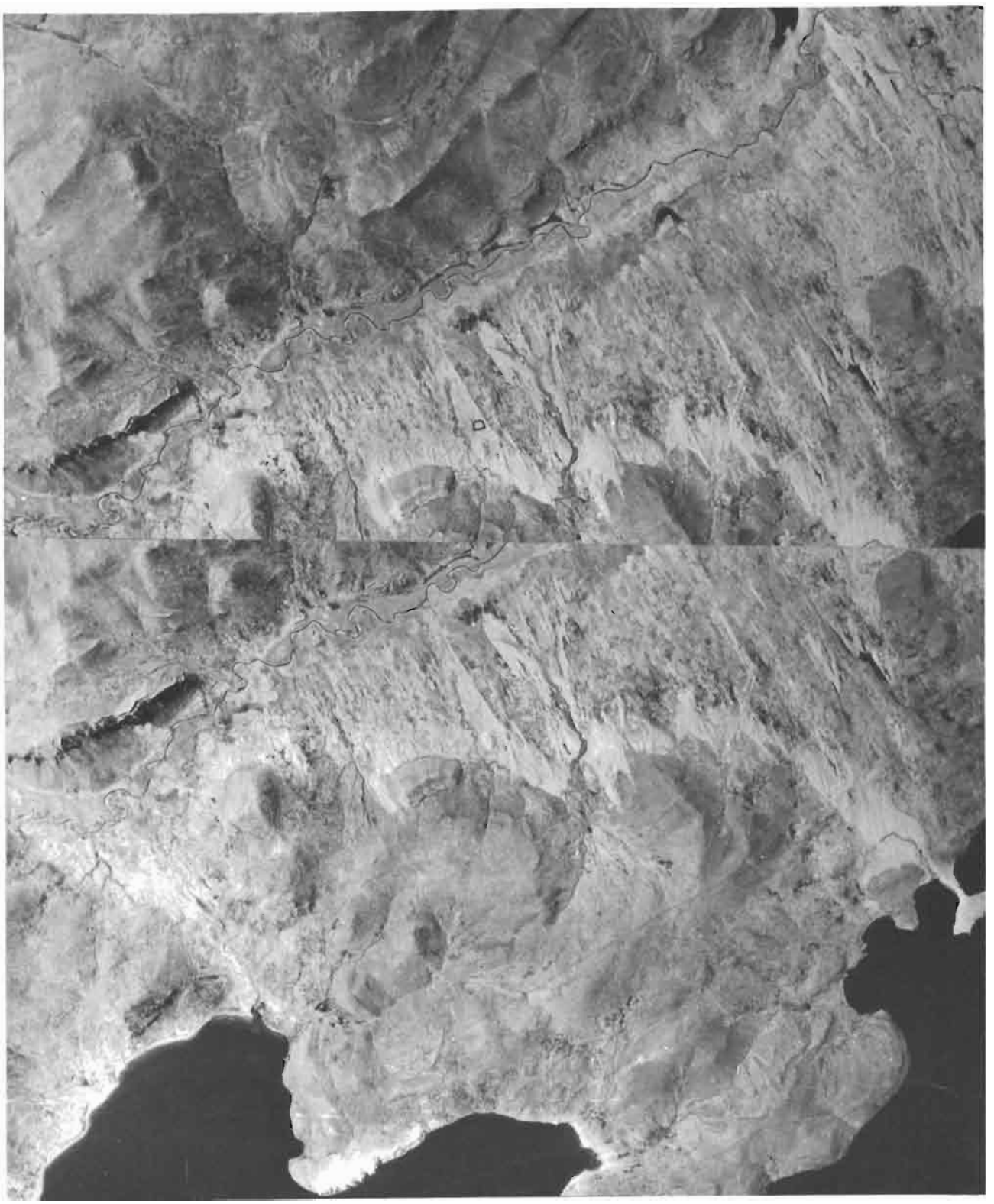
DISEÑO DE DRENAJE Meándrico

TEXTURA DE DRENAJE Media a gruesa **DENSIDAD DE DRENAJE** Baja

DISEÑO DE TONO Bandeado **TEXTURA DE TONO** Suave en las dunas

DISEÑO DE VEGETACION **ANOMALIAS**

OBSERVACIONES Los dos últimos modelos, no contienen ninguna información de tipo geológico. Se deja al estudiante, la posibilidad de llenar los casilleros con la información que corresponda, de acuerdo a la interpretación que realiza en las mismas.



ANEXOS

MODELOS ESTEREOSCOPICOS

ANEXO No. 1 MODELOS ESTEREOSCOPICOS

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	LUGAR DE TOMA	HJA .TPGRFCA.No. 1:1000000	CODIGO
Beni	José Ballivián	Serranía Pilón - Cerro Boya	6247	23
Chuquisaca	Hernando Siles	Monteagudo - Serranías Inao - Taperillas	6834	34
Chuquisaca	Hernando Siles	Serranía Inao - Río Ticucha	6835	36
Chuquisaca	Hernando Siles	Comunidad Tururumba - Río Caraparirenda	6834	39
Chuquisaca	Nor Cinti	Ñuque - Tambillo	6533	88
Chuquisaca	Nor Cinti	Rodeo Cocha - Camino Potosí - Padcaya	6533	90
Chuquisaca	Oropeza	Comunidad Potolo - Oeste de Chaunaca	6537	14
Chuquisaca	Oropeza	Maragua	6536	21
Chuquisaca	Oropeza	Comunidad Molle Molle - Río Tomuyo	5437	29
Chuquisaca	Sud Cinti	Las Carreras - Quebrada Chaupi Unu	6530	32
Chuquisaca	Sud Cinti	Villa Abecia - Ríos Tumusla - Pilaya	6531	46
Chuquisaca	Tomina	Puente Azero - Río Azero	6735	38
Chuquisaca	Yamparaez	Tarabuco	6636	85
Chuquisaca	Yamparaez	Vila Vila - Cororo - Hacienda Quirusilla	6636	16
Cochabamba	Arani	Laguna Acero Khocha - Vacas	6441	1
Cochabamba	Arani	Tiraque A	6441	59
Cochabamba	Arani	Comunidad Koari - Laguna Totora khocha	6441	78
Cochabamba	Campero	Angosto de Santa Rosa - Río Grande	6737	111
Cochabamba	Carrasco	Ríos Ichilo - Chimoré - Puerto Villarroel	6643	58
Cochabamba	Chapare	Cordillera Tunari - Cochabamba	6342	77
Cochabamba	Esteban Arce	La Viña	6440	4
Cochabamba	Mizque	Estancia Comojon Kasa	6440	26
Cochabamba	Quillacollo	Sipe Sipe - Quillacollo	6341	60
La Paz	Aroma	Río Collana - Sur de Coniri	5943	10
La Paz	Aroma	Este de Viscachani - Laguna Irutira	6042	19
La Paz	Ingavi	Hacienda Mealluma al oeste de Guaqui	5844	12
La Paz	Ingavi	Comunidad Parina Arriba	5843	22
La Paz	Ingavi	Sullcatiti- E. de Jesús de Machaca	5843	43
La Paz	Ingavi	Ilata San José - Río Catari	5944	68
La Paz	Ingavi	Estancia Antajahua - Guaqui	5844	84
La Paz	Ingavi	Hacienda Kalapunco - Río Guaquira	5943	93
La Paz	Ingavi	Tiwanaku	5844	96
La Paz	Ingavi	Pampa Chijipata - Laguna Tarcocota	5843	100
La Paz	Larecaja	Chuchiplaya - Río Tipuani	6047	72
La Paz	Los Andes	Laguna Chiar Kkota - Cerro Condoriri	5945	2

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	LUGAR DE TOMA	HJA.TPGRFCA.No. 1:1000000	CODIGO
La Paz	Los Andes	Sayhuani Pampa (Cordillera La Paz)	5845	7
La Paz	Los Andes	Calcoma- Laguna Luki- Río Pallina- W de Laja	5944	31
La Paz	Los Andes	Estancia Puncun Huyu	5845	61
La Paz	Los Andes	Tuni Condoriri-Laguna Tuni Condoriri-Zongo	5945	80
La Paz	Manco Kapac	Yampupata - Sampaya	5745	25
La Paz	Murillo	Achocalla	5944	5
La Paz	Murillo	La Paz - Zona Achumani - Irpavi	5944	55
La Paz	Murillo	Camino La Cumbre- Yungas - Rinconada	5945	65
La Paz	Murillo	Norte de Hampaturi - Laguna AjuanKkota	5944	66
La Paz	Murillo	La Paz - Liman Pata - Patapatani	5944	67
La Paz	Murillo	Serranía Cuchilla Chuquiaguillo	5944	74
La Paz	Murillo	Milluni- Laguna Zongo - Huayna Potosí	5945	75
La Paz	Murillo	Achura- Laguna Chaco KKota- Cerro Matilde	5945	76
La Paz	Murillo	Parte NW de la ciudad de La Paz	5944	110
La Paz	Murillo- Nor Yungas	Río Zongo - Huayna Potosí	5945	104
La Paz	Omasuyos	Ancoraimes - Lago Titicaca	5846	113
La Paz	Pacajes	Estación General Pando - Caquingora	5946	62
La Paz	Pacajes	Corocoro	5942	95
Oruro	Avaroa	Cerro Campana - Pacariza - S. de Sevaruyo	6135	30
Oruro	Avaroa	Laguna Sevaruyo - Estancia Villcani	6235	44
Oruro	Avaroa	Anta - Cerro Pahua - SW de Sevaruyo	6235	103
Oruro	Carangas	Curahuara de Carangas	5940	101
Oruro	Cercado	SE de Colquiri - Norte de Leque Palca	6240	17
Oruro	Dalence	Oeste de Monserrat	6238	18
Oruro	Ladislao Cabrera	Cerro Campana	6135	6
Oruro	Ladislao Cabrera	Circoya - Tajita Colla - Sur Sevaruyo	6135	28
Oruro	Poopó	Poopó - Cerro Pan de Azúcar	6238	40
Oruro	Poopó	Poopó - Mina Trinacria	6238	47
Oruro	Poopó	Mullipampa - Estancia Porruma	6238	73
Oruro	Poopó	Cerro China Chualla - Avicaya	6238	81
Oruro	Poopó	Cerro Chualla Grande - Mina Chualla	6238	82
Potosí	Alonso de Ibañez	Cerro Sonaquena al NW de Caripuyo	6239	71
Potosí	Bustillos	Catavi - Laguna Tranque (Represa)	6238	45
Potosí	Bustillos	Catavi - Siglo XX - LLallagua - Uncía	6238	63
Potosí	Bustillos	Uncía camino Chayanta	6238	64
Potosí	Bustillos	Aguas Calientes (Termas) NW de Catavi	6238	106
Potosí	C. Saavedra	Jesús Valle - Norte de Potosí	6435	13
Potosí	Charcas	Torotoro	6439	24

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	LUGAR DE TOMA	HJA.TPGRFCA.No. 1:1000000	CODIGO
Potosí	Charcas	Aguas Calientes (Este de Torotoro)	6439	35
Potosí	Chayanta	Norte de Pocoata - Camino Lagunillas	6337	9
Potosí	Chayanta	Colquechaca	6337	15
Potosí	Chayanta	Pocoata	6337	27
Potosí	Chayanta	Castilluma - Río Castilluma	6337	56
Potosí	Chayanta	Estancia Jalsuri - Río Jalsuri	6337	87
Potosí	Chayanta	Esquena - Comunidad Totora	6337	89
Potosí	Linares	Oron Kkota	6635	20
Potosí	Linares	Estancia- Incapampa- Río Pilcomayo	6635	50
Potosí	Linares	Caiza D - Minas San Simón - Rosario	6433	91
Potosí	Nor Chichas	Estancia Cajojani - Quebrada Jocko	6231	41
Potosí	Nor Chichas	Quebrada Chaqueri Mayu al W. de Tazna	6332	49
Potosí	Nor Chichas	Tazna - Cerro Tazna	6332	70
Potosí	Nor Chichas	Estancias Chinchilla y Ciénega	6433	92
Potosí	Nor Lípez	Cerro Khala Katin	6030	53
Potosí	Nor Lípez	Cerro Inti Pasto - Río Turquiri	6029	54
Potosí	Nor Lípez	Cerro Pujtin - Al Oeste de Julaca	6031	69
Potosí	Nor Lípez	Estancia Capilla Filo - SW de Alota	6029	105
Potosí	Nor Lípez	Cerro Kolligi - Al NW de Colcha K	6032	107
Potosí	Quijarro	Laguna Khasilla - Cerro Jonkhoto	6334	11
Potosí	Quijarro	Punutuma - Palca	6333	42
Potosí	Quijarro	Estancia Chullunquiri	6333	86
Potosí	Quijarro	Rancho Pockera - Sur de Ubina	6332	98
Potosí	Rafael Bustillo	Chayanta - Pujro	6338	8
Potosí	Sud Chichas	Tupiza	6429	94
Potosí	Sud Chichas	Estancia Torre Falda- E. de Chilcobija	6329	99
Potosí	Sud Lípez	Volcán Licancabur	6025	51
Potosí	Sud Lípez	Volcán Juriques	6025	52
Potosí	Tomas Frías	Ciudad de Potosí - Cerro Rico	6435	79
Potosí	Tomas Frías	La Palca - Cayara - Santa Lucia	6435	102
Potosí	Modesto Omiste	Lampaya	6427	48
Santa Cruz	Andrés de Ibañez	Río Pirai	6940	3
Santa Cruz	Angel Sandoval	Las Petas	7744	108
Santa Cruz	Angel Sandoval	La Fortuna - Ascensión - El Puquio	7644	109
Santa Cruz	Cordillera	Muyupampa - Serranía de Incahuasi	6834	97
Tarija	Gran Chaco	Serranía Caipipendi - Palos Blancos	6829	33

ANEXO No. 2 MODELOS ESTEREOSCOPICOS

SISTEMA	FORMACION	CLASE DE ROCA	HOJA 1:100000	COD
Carbonífero-Cuaternario		Areniscas - Dunas de arena	5846	113
Carbonífero-Jurácico	Grupos Machareti y Mandiyuti - Ichoa	Areniscas - Intercalaciones areniscas, lutitas		37
Carbonífero-Triásico-Cretácico-Terciario	Escarpment - San Telmo - Cangapi - Tariquia	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas - Arenas - Arcillas	6829	33
Carbonífero - Devónico - Terciario - Cuaternario	Vila Vila - Umala	Areniscas - Arcillas lacustres - Alternancia areniscas, lutitas	6042	19
Cretácico	Torotoro - Aroifilla - Chaunaca	Areniscas de grano grueso - Arcillas - Margas - Yesos	6537	14
Cretácico	El Molino	Calizas	6439	24
Cretácico - Permo Triásico	Campana- Mulasi- Coroma- Pahua	Calizas - Areniscas - Arcillas - Arcillas Yesiferas	6135	30
Cretácico - Terciario	Torotoro - El Molino-Santa Lucía - Cayara - Soyco	Calizas - Arcillas - Conglomerados - Areniscas	6440	4
Cretácico - Terciario	El Molino- Santa Lucía- Cayara	Areniscas - Calizas - Arcillas - Conglomerados	6635	20
Cretácico - Terciario	Torotoro- El Molino- Santa Lucía	Areniscas de grano grueso - Calizas - Arcillas - Margas	5437	29
Cretácico - Terciario	Torotoro- El Molino-Santa Lucía-Cayara-Soyco	Areniscas - Calizas - Arcillas - Conglomerados	6439	35
Cretácico - Terciario	Torotoro- El Molino- Santa Lucía- Cayara	Areniscas - Arcillas - Calizas - Conglomerados	6635	50
Cretácico - Terciario	Referencias en Observaciones	Calizas - Areniscas - Arcillas - Lutitas	6235	103
Cretácico	Chaunaca - El Molino- Santa Lucía	Calizas - Arcillas - Lutitas - Yesos - Sal	6536	21
Cuaternario		Arena	6940	3
Cuaternario		Depósitos recientes - (Gravas - Arenas - Arcillas)	6643	58
Cuaternario		Depósitos de abanicos aluviales	6441	59
Cuaternario	Sorata	Till - Arenas - Gravas - Arcillas	5845	61
Cuaternario - Terciario	La Paz - Purapurani	Conglomerado - Arcillas	5944	74
Cuaternario - Pleistoceno	Purapurani - Kaluyo - Sorata - Choqueyapu	Gravas - Till - Depósitos fluvioglaciares- -Arcillas lacustres	5944	67
Devónico-Carbonífero-Triásico-Cretácico-Terciario	Iquiri- Chorro- Escarpment- Cangapi	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas	6834	34
Devónico - Cretácico - Terciario - Cuaternario	La Paz- Pura Purani - Torrentes de barro	Arcillas - Conglomerados poco consolidados - Cenoglomerados-Areniscas,lutitas	5944	55
Devónico - Terciario - Cuaternario	Ulloma	Conglomerados-Arcillas lacustres-Areniscas-Depósitos aluviales	5944	68
Devónico - Carbonífero - Triásico - Cretácico	Iquiri- Chorro- Escarpment- Cangapi	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas	6835	36
Devónico - Terciario - Cuaternario	Devónico no diferenciado - Ulloma	Areniscas - Conglomerados poco consolidados - Arcillas lacustres	5944	31
Devónico - Carbonífero - Triásico - Cretácico	Grupos Machareti-Mandiyuti y Cuevo - F.Iquiri	Areniscas-Alternancia areniscas-lutitas-Lutitas	6735	38
Mesozoico Inferior - Terciario	Beu- Quendeque	Areniscas - Alternancias lutitas, areniscas - Areniscas - Lutitas	6247	23
Ordovícico - Silúrico - Triásico - Jurácico	Llallagua- Uncía- Catavi	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas - Granito	5945	2
Ordovícico	Capinota- Anzaldo - San Benito	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas	6342	77
Ordovícico		Alternancia areniscas, lutitas cortadas por diques ígneos	6433	91
Ordovícico		Alternancia areniscas, lutitas cortadas por diques ígneos	6433	92
Ordovícico (Caradociano)		Alternancia de areniscas , lutitas	6332	70
Ordovícico - Cretácico	Ordovícico superior? Yura- Aroifilla	Alternancia areniscas , lutitas - Areniscas - Arcillas	6332	49
Ordovícico - Cretácico	Amutara- Tarapaya- Miraflores- Aroifilla	Alternancia areniscas, lutitas - Areniscas - Arcillas - Calizas	6337	87
Ordovícico - Cretácico	Amutara- Miraflores- Aroifilla- Tarapaya	Alternancia areniscas, lutitas - Calizas - Arcillas	6337	89
Ordovícico - Cretácico - Terciario	Padcoyo- La Puerta - El Molino- Santa Lucía	Alternancia areniscas, lutitas - Areniscas - Calizas - Arcillas	6533	90
Ordovícico - Cretácico - Terciario	Toda la secuencia del Cretácico	Areniscas - Calizas - Arcillas - Alternancia arcillas, lutitas	6435	102
Ordovícico - Cretácico - Terciario	Camargo- Torotoro- El Molino- Pircancha	Areniscas - Conglomerados - Calizas - Arcillas - Lutitas	6531	46
Ordovícico - Cuarternario		Alternancia areniscas y lutitas - Depósitos aluviales	6441	1
Ordovícico - Cuaternario	Anzaldo - San Benito	Areniscas - Lutitas - Alternancia areniscas, lutitas - Till	6441	78
Ordovícico - Silúrico	Unduavi- Cancañiri- Llallagua- Uncía	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas	5944	66
Ordovícico - Silúrico	Amutara- Cancañiri	Alternancia areniscas, lutitas - Areniscas	6239	71
Ordovícico - Silúrico - Cretácico	Cancañiri- Llallagua- Uncía- Yura- Tarapaya	Areniscas - Arcillas - Alternancia lutitas, areniscas	6333	42
Ordovícico - Silúrico - Cretácico	Amutara- Cancañiri- Miraflores- Aroifilla, Tarapaya	Calizas - Arcillas - Alternancia areniscas, Lutitas	6337	56

SISTEMA	FORMACION	CLASE DE ROCA	HOJA 1:100000	COD
Ordovícico - Silúrico - Cretácico - Terciario	Ñuque- Cancañiri- La Puerta - El Molino Snta Lucia	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas Calizas - Arcillas	6533	88
Ordovícico - Terciario	Ordovícico sin diferenciar- Tupiza- Nazareno	Alternancia areniscas, lutitas - Conglomerados - Basaltos	6429	94
Ordovícico - Terciario		Conglomerados - Alternancia areniscas, lutitas	6329	99
Ordovícico - Terciario - Cuaternario	Mondragón- San Roque- Canteria- Caracoles	Conglomerados - Brecha volcánica - Areniscas - Lavas - Tobas	6435	79
Ordovícico - Terciario - Cuaternario	Ordovícico no diferenciado - Cangalli	Conglomerados - Alternancia areniscas, lutitas	6047	72
Ordovícico - Terciario - Cuaternario?	Sin diferenciar	Alternancia lutitas, areniscas - Conglomerados poco consolidados	6427	48
Ordovícico - Triásico - Jurácico	Unduavi	Granito - Areniscas	5945	76
Ordovícico - Cretácico	La Puerta y Ordovícico no diferenciado	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas	6435	13
Ordovícico - Cretácico	Amutara - Condo	Altenancia areniscas, lutitas - Brechas - Conglomerados	6337	27
Ordovícico - Silúrico	Cancañiri- Amutara	Alternancia areniscas, lutitas	6338	8
Ordovícico - Silúrico	Cancañiri- Amutara	Alternancia areniscas, lutitas	6337	9
Ordovícico - Silúrico - Cretácico - Terciario	Cancañiri- Uncía- La Puerta	Lavas (ácidas a intermedias) Areniscas y lutitas	6337	15
Ordovícico - Silúrico - Triásico - Jurácico	Cancañiri - Llallagua - Uncía - Catavi	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas - Granito	5945	75
Ordovícico - Cretácico	Anzaldo	Alternancia areniscas, lutitas - Calizas - Depósitos de abanicos	6341	60
Ordovícico - Silúrico - Triásico - Jurácico	Llallagua- Uncía- Catavi	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas - Granito	5945	80
Ordovícico - Cretácico - Terciario	El Molino - Santa Lucia - Camargo	Calizas - Arcillas - Areniscas - Conglomerados - Areniscas conglomeradicas	6530	32
Ordovícico - Cretácico - Terciario	Ordovícico- Yura (Condo)- Aroifilla - El Molino	Alternancia lutitas, areniscas - Areniscas - Arcillas - Calizas	6332	98
Ordovícico - Silúrico - Devónico - Cretácico	Kirusilla-Tarabuco- Santa Rosa-Icla-Huamanpampa	Areniscas - Lutitas - Arcillas	6636	85
Ordovícico - Silúrico - Triásico - Cuaternario	Unduavi- Cancañiri- Llallagua- Uncía	Areniscas - Pizarras - Alternancia areniscas, lutitas - Granito	5945	65
Ordovícico	Trigoloma- Santiago	Areniscas - Lutitas - Conglomerados	6440	26
Permico - Carbónifero- Devónico	Copacabana- Kollasuyo	Calizas - Areniscas gruesas - Lutitas	5745	25
Permo Triásico - Cretácico	Campana- Mulasi- Coroma- Pahua	Arenisca - Calizas - Margas - Arcillas - Lutitas - Lutitas yesiferas	6135	6
Precambrico - Terciario - Cuaternario	El Puquio - Elución - Cabezas- Grupo Sunsas	Limolitas - Filitas - Cuarcitas	7744	108
Precambrico - Terciario - Cuaternario	Grupo Sunsas - Ascención - Cabecera	Limolitas - Conglomerados - Pizarras - Cuarcitas - Gneis	7644	109
Silúrico	Uncía- Llallagua	Areniscas - Alternancia lutitas, areniscas	6240	17
Silúrico	Uncía	Lutitas	6238	18
Silúrico	Cancañiri- Llallagua- Uncía	Areniscas - Alternancia lutitas, areniscas	6238	47
Silúrico	Cancañiri- Llallagua- Uncía	Areniscas - Lutitas - Alternancia lutitas, areniscas	6238	64
Silúrico	Llallagua- Uncía- Catavi	Areniscas - Alternacia areniscas, lutitas	6238	73
Silúrico	Llallagua- Uncía	Areniscas - Lutitas - Alternancia lutitas, areniscas	6333	86
Silúrico - Devónico - Cretácico - Terciario	Kirusilla - Tarabuco - Santa Rosa Icla - Huamanpampa - El Molino	Lutitas - Areniscas - Calizas - Conglomerados - Alternancia areniscas, lutitas	6636	16
Silúrico - Cretácico - Terciario	Cancañiri- Llallagua- Uncía- Catavi	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas - Lavas (Riolita - Dacita)	6238	45
Silúrico - Devónico	Santa Rosa- Icla	Areniscas - Lutitas - Alternancia areniscas, lutitas	6737	111
Silúrico - Devónico - Terciario	Uncía- Catavi- Santa Rosa- Tiwanacu	Areniscas - Lutitas - Conglomerados - Areniscas conglomeradicas	5943	10
Silúrico - Terciario	Cancañiri- Llallagua- Uncía	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas - Dacita	6238	40
Silúrico - Terciario	Llallagua- Uncía	Areniscas - Lutitas - Roca ígnea composición intermedia	6238	81
Silúrico - Terciario	Llallagua	Areniscas - Roca ígnea de composición intermedia - ácida	6238	82
Silúrico - Terciario	Frailes (Morococala) Llallagua- Uncía	Lavas de composición ácida-intermedia (Ignimbritas) Areniscas Alternancia lutitas, areniscas	6238	106
Silúrico - Cretácico - Terciario	Cancañiri- Llallagua- Uncía- Catavi - Condo	Areniscas-Lutitas-Alternancia areniscas-lutitas-Lavas-Conglomerados	6238	63
Terciario - Cuaternario	La Paz - Calvario - Pura Purani - Sorata	Lutitas - Arcillas - Conglomerados poco consolidados - Gravas	5944	110
Terciario - Cuaternario		Lavas - Tobas	6032	107
Terciario	Tiwanacu	Areniscas - Arenas - Gravas - Arcillas	5844	12
Terciario	Los Frailes	Lavas - (Andesitas - Tobas)	6235	44
Terciario	Tiwanacu- Coniri- Kollu Kollu	Areniscas - Conglomerados - Arcillas	5943	93

SISTEMA	FORMACION	CLASE DE ROCA	HOJA 1:100000	COD
Terciario	Jalluma- Pando- Ballivián- Caquiaviri	Areniscas - Arcillas yesiferas - Yesos - Conglomerados - Arcillas	5942	95
Terciario - Cuaternario	Grupo Chaco (F. Guandacay)	Areniscas - Conglomerados poco consolidados - Arcillas	6834	39
Terciario	Nuevo Mundo	Riolita	6334	11
Terciario	Tiwanacu	Areniscas	5844	84
Terciario	Taraco	Conglomerados poco consolidados clastos medianos y uniformes	5844	96
Terciario	Topohoco	Conglomerado poco consolidado	5843	100
Terciario	Grupo Umala- Crucero- Totora	Conglomerados - Arcillas yesiferas - Areniscas - Arcillas - Basalto	5940	101
Terciario - Cuaternario	Sorata	Till - Areniscas - Conglomerados	5845	7
Terciario - Cretácico - Permotriásico	Potoco- Tusque- Candelaria- Mulasi- Campana	Calizas - Areniscas - Lutitas - Yesos - Depósitos fluvio-lacustres	6135	28
Terciario - Cuaternario	La Paz- Pura Purani- Torrente de barro	Arcillas - Conglomerados poco consolidados - Cenoglomerados	5944	5
Terciario - Cuaternario	Ulloma- Tiwanacu	Arcillas lacustres - Depósitos aluviales recientes - Areniscas	5843	22
Terciario - Cuaternario	Potoco	Areniscas - Conglomerados - Arcillas - Lutitas	6231	41
Terciario - Cuaternario	Estrato volcán- Lavas cuaternarias	Andesitas - Piroclastos - Lavas recientes	6025	51
Terciario - Cuaternario	Estrato volcán	Dacitas - Piroclastos - Lavas cuaternarias	6025	52
Terciario - Cuaternario	Estrato volcán	Dacitas - Coladas de Lavas	6030	53
Terciario - Cuaternario	Estrato volcán	Dacitas - Piroclastos - Lavas (Ignimbritas)	6029	54
Terciario - Cuaternario	Jalluma- Pando- Ulloma	Arcillas - Arcillas yesiferas - Yesos	5942	62
Terciario - Cuaternario		Lavas de composición intermedia	6031	69
Terciario - Cuaternario		Lavas de composición ácida a intermedia (Ignimbritas)	6029	105
Terciario - Cuaternario	Tiwanacu- Ulloma -	Alternancia areniscas, lutitas - Arcillas - Depósitos aluviales	5843	43
Terciario - Cretácico- Triásico - Carbonífero	Grupos Chaco- Tacuru- Mandiyuti - Cuevo	Alternancia areniscas, conglomerados y arcillas - Areniscas	6834	97
Triásico - Jurásico		Rocas de composición granítica (Granitos)	5945	104

ANEXO No. 3 MODELOS ESTEREOSCOPICOS

TIPO DE ROCA	CLASE DE ROCA	FORMACION	EDAD GEOLOGICA	COD
Ignea-Sedimentaria	Areniscas-Lutitas-Lavas	Cancañiri-Uncía-La Puerta	Ordovícico-Silúrico-Cretácico-Terciario	15
Ignea Extrusiva	Andesitas-Piroclastos-Lavas recientes	Estrato volcán	Cuaternario-Terciario	51
Ignea Extrusiva	Dacitas-Piroclastos-Lavas(Ignimbritas)	Estrato volcán	Terciario - Cuaternario	54
Ignea Intrusiva	Dacitas-Piroclastos-lavas cuaternarias	Estrato volcán	Terciario - Cuaternario	52
Ignea Intrusiva - Sedimentaria	Granito - Areniscas	Unduavi	Ordovícico - Triásico - Jurácico	76
Ignea extrusiva	Riolita	Nuevo Mundo	Terciario	11
Ignea extrusiva	Lavas-(Andesitas-Tobas)	Los Frailes	Terciario	44
Ignea extrusiva	Dacitas-Coladas de Lavas	Estrato volcán	Terciario - Cuaternario	53
Ignea extrusiva	Lavas de composición intermedia		Terciario - Cuaternario	69
Ignea extrusiva	Lavas de composición ácida a intermedia (Igninbritas)		Terciario - Cuaternario	105
Ignea extrusiva	Lavas - Tobas		Terciario - Cuaternario	107
Ignea extrusiva - Sedimentaria	Lavas de composición ácida-intermedia (Ignimbritas) - Areniscas	Frailes (Morococala) Llallagua- Uncía	Silúrico - Terciario	106
Ignea intrusiva	Rocas de composición granítica (Granitos)		Triásico - Jurásico	104
Sedimentaria	Depósitos Aluviales - Alternancia areniscas, lutitas-		Ordovícico - Cuaternario	1
Sedimentaria	Arena		Cuaternario	3
Sedimentaria	Calizas - Arcillas - Conglomerados -Areniscas	Torotoro- El Molino- Santa Lucia-Cayara Soyco	Cretácico - Terciario	4
Sedimentaria	Arcillas-Conglomerados poco consolidados-cenoglomerados	La Paz-Pura Purani- Torrente de Barro	Terciario - Cuaternario	5
Sedimentaria	Arenisca- Calizas- Margas- Arcillas--Lutitas-Lutitas Yesíferes	Campana- Mulasi- Coroma- Pahua	Permo Triásico - Cretácico	6
Sedimentaria	Till - Areniscas - Conglomerados	Sorata	Terciario - Cuaternario	7
Sedimentaria	Alternancia de areniscas, lutitas	Cancañiri- Amutara	Ordovícico - Silúrico	8
Sedimentaria	Alternancia de areniscas, lutitas	Cancañiri- Amutara	Ordovícico - Silúrico	9
Sedimentaria	Areniscas y lutitas-Conglomerados-Areniscas conglomerádicas	Uncía- Catavi- Santa Rosa- Tiwanacu	Silúrico - Devónico - Terciario	10
Sedimentaria	Areniscas-Arenas-Gravas-Arcillas	Tiwanacu	Terciario	12
Sedimentaria	Areniscas de grano grueso - Arcillas-Margas-Yesos	Torotoro- Aroifilla- Chaunaca	Cretácico	14
Sedimentaria	Lutitas - Areniscas - Calizas - Conglomerados	Kirusilla-Tarabuco-Santa Rosa	Silúrico-Devónico-Cretácico-Terciario	16
	Alternancia areniscas, lutitas	Huamanpampa-El Molino		
Sedimentaria	Lutitas - Areniscas	Uncía- Llallagua	Silúrico	17
Sedimentaria	Lutitas	Uncía	Silúrico	18
Sedimentaria	Areniscas - Arcillas lacustres- - Alternancia Areniscas-, lutitas	Vila Vila - Umala	Carbonífero-Devónico-Terciario-Cuaternario	19
Sedimentaria	Areniscas - Calizas - Arcillas - Conglomerados	El Molino-Santa Lucia-Cayara	Cretácico - Terciario	20
Sedimentaria	Calizas - Arcillas - Lutitas - Yesos - Sal	Chaunaca- El Molino- Santa Lucia	Cretácico	21
Sedimentaria	Arcillas lacustres - Depósitos aluviales recientes-Areniscas	Ulloma- Tiwanacu	Terciario - Cuaternario	22
Sedimentaria	Areniscas - Alternancia lutitas, areniscas-Lutitas	Beu- Quendeque	Mesozoico Inferior - Terciario	23
Sedimentaria	Calizas	El Molino	Cretácico	24
Sedimentaria	Areniscas-Lutitas-Conglomerados	Trigoloma- Santiago	Ordovícico	26
Sedimentaria	Alternancia de areniscas, lutitas-Brechas-Conglomerados	Amutara- Condo	Ordovícico - Cretácico	27
Sedimentaria	Areniscas de grano grueso - Calizas-Arcillas-Margas	Torotoro- El Molino- Santa Lucia	Cretácico - Terciario	29
Sedimentaria	Calizas - Areniscas - Arcillas - Arcillas yesíferas	Campana- Mulasi- Coroma- Pahua	Cretácico - Permo Triásico	30
Sedimentaria	Areniscas-Conglomerados poco consolidados-Arcillas lacustres	Devónico no diferenciado- Ulloma	Devónico - Terciario - Cuaternario	31
Sedimentaria	Calizas - Arcillas - Areniscas -Conglomerados-Areniscas conglomerádicas	El Molino- Santa Lucia- Camargo	Ordovícico - Cretácico - Terciario	32
Sedimentaria	Areniscas - Alternacia areniscas, lutitas-Arenas-Arcillas	Escarpment-San Telmo-Cangapi-Tariquia	Carbonífero-Triásico-Cretácico-Terciario	33

TIPO DE ROCA	CLASE DE ROCA	FORMACION	EDAD GEOLOGICA	COD
Sedimentaria	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas	Iquiri- Chorro- Escarpment Cangapi	Devónico-Carbonífero-Triásico-Cretácico-Terciario	34
Sedimentaria	Areniscas - Calizas - Arcillas - Conglomerados	Torotoro- El Molino- Santa Lucia-Cayara Soico-	Cretácico - Terciario	35
Sedimentaria	Areniscas - Alternancia areniscas-, lutitas-Lutitas	Iquiri- Chorro- Escarpment- Cangapi	Devónico-Carbonífero-Triásico-Cretácico	36
Sedimentaria	Areniscas-Intercalaciones areniscas-, lutitas	Grupos Machareti y Mandiyuti-Ichoa	Carbonífero - Jurásico	37
Sedimentaria	Areniscas - Alternancia areniscas y lutitas-Lutitas	Iquiri-Grupos Machareti-Mandiyuti y Cuevo	Terciario-Cretácico-Triásico-Carbonífero -Devónico	38
Sedimentaria	Areniscas - Conglomerados poco consolidades-Arcillas	Grupo Chaco- (Guandacay)	Terciario - Cuaternario	39
Sedimentaria	Areniscas - Conglomerados - Arcillas-Lutitas	Potoco	Terciario - Cuaternario	41
Sedimentaria	Areniscas - Arcillas - Alternancia lutitas-, areniscas	Cancañiri-Llallagua-Uncía-Yura-Tarapaya	Ordovícico - Silúrico - Cretácico	42
Sedimentaria	Areniscas- Conglomerados- Calizas-Arcillas-Lutitas-Arcillas- Lutitas-	Camargo- Torotoro- El Molino-Pircancha-	Ordovícico - Cretácico - Terciario	46
Sedimentaria	Areniscas - Alternancia lutitas, areniscas	Cancañiri- Llallagua- Uncía	Silúrico	47
Sedimentaria	Alternancia lutitas, areniscas-Conglomerados poco consolidados	Sin diferenciar	Ordovícico - Terciario - Cuaternario?	48
Sedimentaria	Alternacia areniscas, lutitas - Areniscas-Arcillas	Yura- Aroifilla	Ordovícico-Cretácico	49
Sedimentaria	Areniscas - Arcillas - Calizas - Conglomerados	Torotoro -El Molino-Santa Lucia-Cayara	Cretácico - Terciario	50
Sedimentaria	Arcillas-Conglomerados poco consolidados-Cenoglomerados Areniscas-Lutitas	La Paz- Pura Purani- Torrentes de barro	Devónico - Cretácico - Terciario - Cuaternario	55
Sedimentaria	Depósitos recientes - (Gravas- Arenas-Arcillas)		Cuaternario	58
Sedimentaria	Depósitos de abanicos aluviales		Cuaternario	59
Sedimentaria	Alternancia areniscas, lutitas- Calizas-Depósitos de abanicos	Anzaldo	Ordovícico - Cretácico	60
Sedimentaria	Arcillas - Arcillas yesiferas - Yesos	Jalluma- Pando- Ulloma	Terciario - Cuaternario	62
Sedimentaria	Areniscas - Lutitas-Alternancia areniscas, lutitas	Cancañiri- Llallagua- Uncía	Silúrico	64
Sedimentaria	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas	Unduavi-Cancañiri-Llallagua-Uncía	Ordovícico - Silúrico	66
Sedimentaria	Gravas-Till-Depósitos fluvio-Arcillas lacustres	Pura Purani-Kaluyo-Sorata-Choqueyapu	Pleistoceno - Reciente	67
Sedimentaria	Conglomerados-Arcillas lacustres-Areniscas-Depósitos aluviales	Ulloma	Devónico - Terciario - Cuaternario	68
Sedimentaria	Alternacia areniscas, lutitas		Ordovícico (Caradociano)	70
Sedimentaria	Areniscas-Alternancia areniscas, lutitas	Amutara - Cancañiri	Ordovícico - Silúrico	71
Sedimentaria	Conglomerados-Alternancia areniscas, Lutitas	Ordovícico no diferenciado- Cangalli	Ordovícico - Terciario - Cuaternario	72
Sedimentaria	Areniscas - Alternacia areniscas-Lutitas	Llallagua- Uncía- Catavi	Silúrico	73
Sedimentaria	Conglomerado - Arcillas	La Paz- Purapurani	Cuaternario - Terciario	74
Sedimentaria	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas	Capinota-Anzaldo-San Benito	Ordovícico	77
Sedimentaria	Areniscas - Lutitas - Alternancia areniscas, lutitas-Till	Anzaldo- San Benito	Ordovícico - Cuaternario	78
Sedimentaria	Areniscas	Tiwanacu	Terciario	84
Sedimentaria	Areniscas - Lutitas - Arcillas	Kirusilla-Tarabuco-Santa Rosa- Icla	Ordovícico-Silúrico-Devónico-Cretácico	85
Sedimentaria	Areniscas - Lutitas - Alternancia areniscas, lutitas	Llallagua- Uncía	Silúrico	86
Sedimentaria	Alternancia areniscas, lutitas-Areniscas-Arcillas-Calizas	Amutara-Tarapaya-Miraflores-Aroifilla	Ordovícico - Cretácico	87
Sedimentaria	Alternancia de areniscas, lutitas - Calizas-Arcillas	Amutara-Miraflores-Aroifilla-Tarapaya	Ordovícico - Cretácico	89
Sedimentaria	Alternancia areniscas,lutitas-Areniscas-Calizas-Arcillas	Padcoyo-La Puerta-El Molino-Santa Lucia	Ordovícico - Cretácico - Terciario	90
Sedimentaria	Areniscas-Conglomerados-Arcillas	Tiwanacu- Coniri- Kollu Kollu	Terciario	93

TIPO DE ROCA	CLASE DE ROCA	FORMACION	EDAD GEOLOGICA	COD
Sedimentaria	Areniscas-Arcillas-Arcillas yesíferas-Yesos-Conglomerados	Jalluma-Pando-Ballivián-Caquiaviri	Terciario	95
Sedimentaria	Conglomerados poco consolidados Clastos medianos y uniformes	Taraco	Terciario	96
Sedimentaria	Alternancia areniscas, conglomerados-Arcillas-Areniscas	Grupos Chaco- Tacuru-Mandiyuti-Cuevo	Terciario-Cretácico-Triásico-Carbonífero	97
Sedimentaria	Alternancia lutitas,areniscas - Areniscas-Arcillas-Calizas	Ordovícico-Yura (Condo)-Aroifilla El Molino	Ordovícico-Cretácico-Terciario	98
Sedimentaria	Conglomerados-Alternancia areniscas, lutitas		Ordovícico - Terciario	99
Sedimentaria	Conglomerado poco consolidado	Topohoco	Terciario	100
Sedimentaria	Areniscas - Calizas - Arcillas - Alternancia arcillas, lutitas	Toda la secuencia del Cretácico	Ordovícico - Cretácico - Terciario	102
Sedimentaria	Calizas-Areniscas-Arcillas-Lutitas	Referencias en observaciones	Cretácico - Terciario	103
Sedimentaria	Lutitas-Arcillas-Conglomerados poco consolidados-Gravas	La Paz-Calvario-Pura Purani-Sorata	Terciario - Cuaternario	110
Sedimentaria	Areniscas - Lutitas - Alternancia areniscas-lutitas	Santa Rosa- Icla	Silúrico - Devónico	111
Sedimentaria	Areniscas - Dunas de Arena		Carbonífero - Cuaternario	113
Sedimentaria - Ignea	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas - Granito	Llallagua- Uncía- Catavi	Ordovíco - Silúrico- Triásico - Jurácico	2
Sedimentaria - Ignea	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas - Dacita	Cancañiri- Llallagua- Uncía	Silúrico - Terciario	40
Sedimentaria - Ignea	Areniscas - Lutitas - Alternancia arenisca, lutitas-Lavas Conglomerado	Cancañiri- Llallagua- Uncía- Catavi Condo	Silúrico - Cretácico - Terciario	63
Sedimentaria - Ignea	Conglomerados - Brecha volcánica - Areniscas -Lavas -Tobas	Mondragon-San Roque-Canteria-Caracoles	Ordovícico - Terciario - Cuaternario	79
Sedimentaria - Ignea	Areniscas-Alternancia arenisca, lutitas-Calizas-Arcillas Basalto	Ñuque-Cancañiri-La Puerta-El Molino	Ordovícico - Silúrico - Cretácico	88
Sedimentaria - Ignea - Metamorfica	Areniscas - Pizarras - Alternancia areniscas, lutitas-Granito	Unduavi-Cancañiri-Llallagua-Uncía	Ordovícico-Silúrico-Triásico-Cuaternario	65
Sedimentaria - Ignea extrusiva	Areniscas-Alternancia areniscas, lutitas-Lavas (Riolita-Dacita)	Cancañiri- Llallagua- Uncía- Catavi	Silúrico - Cretácico - Terciario	45
Sedimentaria - Ignea intrusiva	Areniscas - Lutitas - Roca ígnea-composición intermedia	Llallagua- Uncía	Silúrico - Terciario	81
Sedimentaria - Ignea intrusiva	Areniscas-Lutitas-Roca ígnea de composición intermedia-ácida	Llallagua	Silúrico - Terciario	82
Sedimentaria - Ignea intrusiva	Alternancia de areniscas, lutitas cortadas por diques ígneos		Ordovícico	91
Sedimentaria - Ignea intrusiva	Alternancia areniscas, lutitas cortadas por diques ígneos		Ordovícico	92
Sedimentaria - Igneas	Alternancia areniscas, lutitas - Conglomerados - Basaltos	Ordovícico sin diferenciar-Tupiza-Nazareno	Ordovícico - Terciario	94
Sedimentaria - Metamórfica	Limolitas - Filitas - Cuarcitas	El Puquio-Elución-Cabezas-Grupo Sunsas	Precámbrico - Terciario - Cuaternario	108
Sedimentaria - Metamórfica	Limolitas, Conglomerados, Pizarras - Cuarcitas - Gneis	Grupo Sunsas- Ascención- Cabezas	Precambrico - Terciario - Cuaternario	109
Sedimentaria	Till - Arenas - Gravas - Arcillas - Glaciación	Sorata	Cuaternario	61
Sedimentaria - Ignea	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas-Granito	Llallagua- Uncía- Catavi	Ordovícico - Silúrico - Triásico- Jurácico	80
Sedimentaria - Ignea extrusiva	Conglomerados- Arcillas yesíferas-Areniscas-Arcillas-Basalto	Grupo Umala- Crucero- Totora	Terciario	101
Sedimentarias	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas	La Puerta-Ordovícico no diferenciado	Ordovícico y Cretácico	13
Sedimentarias	Calizas - Areniscas gruesas - Lutitas	Copacabana- Kollasuyo	Permico - Carbonífero - Devónico	25
Sedimentarias	Calizas- Areniscas- Lutitas- Yesos- Depósitos fluvio-lacustres	Potoco-Tusque-Candelaria-Mulasi Campana	Terciario - Cretácico - Permotrias?	28
Sedimentarias	Alternancia areniscas, lutitas- Arcillas-Depósitos aluviales	Tiwanacu- Ulloma	Terciario - Cuaternario	43
Sedimentarias	Calizas - Arcillas - Alternancia areniscas, lutitas	Amutara-Cancañiri-Miraflores-Aroifilla - Tarapaya	Ordovícico - Silúrico - Cretácico	56
Sedimentarias - Ignea - Intrusiva	Areniscas - Alternancia areniscas, lutitas - Granito	Cancañiri-Llallagua-Uncía-Catavi	Ordovícico- Silúrico- Triásico- Jurácico	75

ANEXO No. 4 MODELOS ESTEREOSCOPICOS

ANTICLINAL	SINCLINAL	HOMOCLINAL	DIAPIROS	CODIGO
		Sí		2
	Sí	Sí		4
Sí	Sí		Sí	6
Sí	Sí			8
		Sí		9
Sí				12
Sí	Sí			13
Sí				14
		Sí		15
	Sí			16
	Sí			18
	Sí			19
	Sí	Sí		20
	Sí			21
Sí				23
Sí	Sí			24
		Sí		25
Sí				27
Sí	Sí	Sí		28
Sí	Sí			29
Sí	Sí		Sí	30
Sí	Sí			31
		Sí		32
Sí	Sí	Sí		33
Sí	Sí	Sí		34
Sí				35
		Sí		36
	Sí			37
		Sí		38
		Sí		40
Sí	Sí	Sí	No	42
Sí	Sí			45
		Sí		46
		Sí		47
Sí				48
Sí	Sí			49

ANTICLINAL	SINCLINAL	HOMOCLINAL	DIAPIROS	CODIGO
Sí	Sí			50
Sí	Sí			56
Sí	Sí			63
Sí				64
	Sí			66
Sí	Sí			72
	Sí			73
Sí	Sí			75
Sí	Sí			78
	Sí			81
Sí	Sí			82
	Sí			83
Sí				84
	Sí			85
	Sí			86
Sí	Sí			87
Sí	Sí			88
Sí	Sí			89
Sí	Sí			90
	Sí			91
	Sí			92
		Sí		93
Sí				94
Sí			Sí	95
		Sí		96
	Sí			97
Sí	Sí			98
Sí	Sí	Sí		101
	Sí			102
		Sí		103
Sí				106
Sí	Sí			108
	Sí			109
Sí				111

ANEXO No. 5 MODELOS ESTEREOSCOPICOS

FALLAS GEOLOGICAS	INVER-SA	NORMAL	LINEA-MIENTOS	CODIGO
			Sí	2
Se observan alineamientos transversales al rumbo de la estructura en la formación Soyco que coinciden con segmentos de ríos, lo que sugiere un control debido a fallamiento.			Sí	4
Se observan alineamientos muy marcados que coinciden con zonas de fallamientos.			Sí	5
Se observan alineamientos muy marcados que podrían corresponder a zonas de fallamientos.				7
Para la identificación de fallas se debe necesariamente utilizar criterios estratigráficos; convergencia y truncamiento de estratos.				8
El modelo muestra el ajuste del río principal a la falla Coniri, que pone en contacto rocas de edad Terciaria con rocas de edad Silúrica y Devónica. La zona de falla, además muestra una anomalía tonal muy marcada, alineada a lo largo de la indicada zona de falla.	Sí		Sí	10
Se halla afectada por varias fallas transversales.				12
El fallamiento coincide con zonas de lineamientos. En las rocas sedimentarías se observan fallas transversales que muestran desplazamientos grandes.			Sí	15
El río principal o mayor que se observa èn el modelo, muestra una alineación marcada, que sugiere un control debido a la presencia de una falla de tipo longitudinal. Es posible confirmar la presencia de la indicada falla, utilizando criterios estratigráficos y trucamiento de estratos, como ocurre entre los Conglomerados Terciarios y el Cretácico. (Borde SE). Otra falla importante,es la ubicada en el flanco este del sinclinal, que en el modelo se observa por los remanentes de tonos claros de la formación El Molino que se hallan adelgazados y alineados con la falla. En su prolongación Sur los remanentes desaparecen, por efecto de la falla, que pone en contacto directo a los conglomerados con rocas del Devónico.	Sí		Sí	16
El alineamiento de segmentos de ríos que son muy marcados y de gran longitud podrian sugerir la presencia de pequeñas fallas.				18
Fallas transversales son muy comunes en el modelo. Se puede apreciar el desplazamiento de los bancos de areniscas con relativa facilidad.				19

FALLAS GEOLOGICAS	INVER-SA	NORMAL	LINEA-MIENTOS	CODIGO
Por los marcados alineamientos paralelos, se puede sugerir que el área se halla afectada por un sistema de fallas paralelas y longitudinales.			Sí	26
La identificación de las fallas descritas anteriormente, no es muy sencilla. Los criterios utilizados para la identificación de la falla longitudinal que afecta al flanco Oeste del anticlinal, ubicado en la parte SE del modelo, se hallan relacionados con la convergencia, interrupción de estructuras, alineamiento del río y criterios estratigráficos. Se observan alineamientos que pueden coincidir con zonas de falla.	Sí		Sí	27
Al tratarse de una estructura diapirica, se supone la existencia de fallas inversas de alto ángulo, que favorecieron este proceso de diapirismo. En la foto es posible identificar sólo una falla longitudinal inversa de alto ángulo, ubicada en el flanco Este del anticlinal, caracterizado por una alineación de segmentos de ríos y una alineación tonal en el contacto con los yesos de esta estructura.	Sí			30
La identificación directa de fallas no es posible realizar. Se puede inferir la presencia de una falla longitudinal, que coincide con el eje del anticlinal,si se realiza un análisis cuidadoso de los rumbos y buzamientos en el lugar del cierre de la estructura. Otro tipo de fallas que se observa, corresponde a fallas transversales, de reducido desplazamiento y longitud.	Sí			31
Las rocas de la formación Camargo se hallan afectadas por fallas transversales de longitudes mayores a los 2 Km. aunque de desplazamientos mínimos.Se identifican por alineamientos marcados por segmentos de ríos.			Sí	32
El truncamiento de estratos, la convergencia de estratos, el adelgazamiento de estratos, la desaparición de estructuras sinclinales,las relaciones estratigráficas entre las formaciones que aparecen en contacto directo, permiten definir con precisión la existencia y ubicación de dos fallas longitudinales inversas.	Sí			33
Los criterios utilizados para identificar fallas en las fotografías aéreas como truncamiento, convergencia, adelgazamiento y omisión de estratos, relaciones estratigráficas, alineamientos de segmentos de ríos, permiten determinar la existencia de una falla como la ubicada en el flanco Este del anticlinal.	Sí		Sí	34
Se observa un marcado lineamiento, que puede sugerir fallas transversales con poco desplazamiento.	Sí		Sí	35
El drenaje del área, en especial los ríos transversales a la estructura, muestran lineamientos muy marcados, que pueden ser consecuencia del ajuste de ellos a zonas de fallas, fracturas y diaclasamiento.			Sí	37

FALLAS GEOLOGICAS	INVER-SA	NORMAL	LINEA-MIENTOS	CODIGO
Se observa una falla longitudinal regional inversa de alto ángulo, que echa estratos de la formación Cancañiri y Llallagua sobre lutitas de la formación Uncía. El plano de falla buza hacia el Este. La falla se la identifica por un marcado alineamiento en el relieve,que coincide con un quiebre de pendiente, además de la alineación tonal que tiene. Se observa una falla transversal, a lo largo de la cual existen aguas termales.	Sí			40
Las fallas inversas de alto ángulo longitudinales, pueden ser identificadas en el modelo por alineaciones de segmentos de ríos y de tono. (Tonos claros). El modelo muestra un ejemplo tipo relacionado con el desplazamiento axial de estructuras con levantamiento o descenso de la nariz de un pliegue. Los flancos de los sinclinales cretácicos (K1 y K2) muestran un ensanchamiento aparente mayor que los flancos del bloque donde se halla el cierre del sinclinal,sugiere que el bloque del cierre ha sido desplazado hacia abajo, mientras que el otro bloque ha sido desplazado hacia arriba.	Sí	Sí	Sí	42
La alineación de abanicos aluviales y la presencia de algunos escarpes podrían sugerir la existencia de una zona de fallamiento paralela al rumbo general de la estructura.				43
La identificación de fallas en este modelo, solo es posible si se utilizan criterios estratigráficos.	Sí		Sí	45
Apoyandose en criterios morfológicos como el alineamiento marcado que se produce por el quiebre de pendientes en la ladera Oeste de la serranía homoclinal, además del criterio estratigráfico, es posible inferir una falla longitudinal de tipo inversa que echa estratos de la formación Llallagua y Cancañiri sobre las lutitas de la formación Uncía. Es muy frecuente la presencia de fallas transversales.	Sí		Sí	47
Por el alineamiento marcado que muestra el único río orientado en dirección NS, ubicado en el flanco. Este del anticlinal, se puede inferir la presencia de una falla longitudinal (E) de gran importancia. Trabajo de campo muestra que la falla se halla asociada con zonas de mineralización de manganeso.			Sí	48
Un fuerte alineamiento del río mayor del área, sugiere la presencia de una falla que afecta a rocas del Ordovícico.			Sí	49
En este sector, se podría considerar que el río Pilcomayo corre a lo largo de una zona de falla, que coincide además con el cierre de una estructura sinclinal.				50
La identificación de fallas es muy difícil, debido a la erosión intensa del área. Se observa un alineamiento de orientación NW-SE que pasa por la zona de Alto Obrajes,Aranjuez, Mallasa (E). Otros alineamientos paralelos al anterior se observan en el borde Este del modelo.			Sí	55
La identificación de fallas puede ser realizada si se analizan la presencia de estratos volcados, su posición estratigráfica, el truncamiento, repetición u omisión de estratos.	Sí	Sí		56

FALLAS GEOLOGICAS	INVER-SA	NORMAL	LINEA-MIENTOS	CODIGO
El alineamiento de varios abanicos aluviales, a lo largo del frente de la cordillera, puede sugerir la presencia de una zona de falla.			Sí	60
Se observa un alineamiento de segmentos de ríos muy marcado que sugiere fallamiento de edad relativamente muy reciente, ya que los depósitos glaciares y aluviales se hallan afectados por dicho alineamiento.			Sí	61
Se puede inferir la presencia de una falla, por el alineamiento ubicado a lo largo de las lagunas, que separa dos tipos de litología. (Yesos de la formación Jalluma con arcillas de la formación Ulloma).	Sí		Sí	62
Convergencia de estratos, alineamiento del río que profundiza su valle en el sector Norte, mientras que en el Sur es divagante, truncamiento de estratos, cambios de litología en ambos lados del río principal, constituyen criterios que permiten aseverar la presencia de una falla longitudinal de alto buzamiento.	Sí		Sí	64
La zona muestra una serie de lineamientos que pueden corresponder a zonas de fallamiento y diaclasamiento.En el caso de aquellos lineamientos que son continuos en los diferentes tipos de roca, deben ser considerados con mayor posibilidad como zonas de fallamiento.			Sí	65
Existe una fuerte y marcada fracturación de las rocas, es posible identificar dos sistemas bien definidos de diaclasas. Los lineamientos que cruzan todo el modelo, pasando a diferentes tipos de litología deben ser consideradas como zonas de fallamiento, como el lineamiento (E) a lo largo del cual se hallan ubicadas dos lagunas. Por la ubicación de estas dos lagunas, que quedan al Norte de la Represa de Hampaturi,que suministra agua a la ciudad de La Paz,pueden ser utilizadas como embalses secundarios para la indicada presa.			Sí	66
El modelo muestra dos deslizamientos complejos de grandes dimensiones. El deslizamiento que limita con el borde del Altiplano, que en el sector se denomina Ceja de Patapatani ubicado en el extremo Oeste del modelo, corresponde a un deslizamiento ocurrido a lo largo de una zona de falla, paralela con el escarpe del deslizamiento,limitada al mismo tiempo por fallas perpendiculares a la anterior que definen el cuerpo del material deslizado. A lo largo de las indicadas fallas algunos ríos han ajustado su curso,como los de las quebradas de Patapatani y Sapani.				67
El modelo muestra un ejemplo que puede ser utilizado frecuentemente en esa zona para identificar fallas longitudinales que pueden ser interpretadas como inversas de alto ángulo, buzando hacia el Este. Los criterios fotogeológicos para su identificación son los siguientes: a) Solo se observa afloramientos de las areniscas de la formación Catavi (R) en el flanco Este del sinclinal.	Sí		Sí	73

FALLAS GEOLOGICAS	INVER-SA	NORMAL	LINEA-MIENTOS	CODIGO
b) En el borde Sur del modelo, se ve que el cierre sinclinal (S) de los estratos de la formación Catavi se hallan truncados. El río principal se halla ajustado a esa línea de truncamiento. c) Se observa que las lutitas de la formación Uncia (U) del Flanco Oeste del sinclinal, se apoyan directamente sobre las areniscas Catavi del flanco Este. d) El río principal muestra un alineamiento a lo largo de la zona de fallamiento.				
Algunos lineamientos que se observan en la foto pueden corresponder a zonas de fallamiento (F). El diaclasamiento en las rocas aflorantes,puede ser utilizado para diferenciarlas entre si. El granito presenta un diaclasamiento caótico, muy denso, y diferente al de las rocas del Ordovícico, cuyo diaclasamiento es en dos direcciones casi perpendiculares entre si. Estas rocas muestran algo de metamorfismo regional.			Sí	75
La roca se halla fuertemente diaclasada, en mas de dos direcciones. Existe una orientación de fracturas de longitudes mayores a las diaclasas, que muestran una espaciamiento paralelo entre si con separaciones mayores a los 300 metros y orientados en dirección NW - SE.			Sí	76
Si se analiza en detalle la distribución de las rocas, es posible inferir algunas zonas de fallas.				77
Los ríos principales pueden sugerir la presencia de fallas, si además se consideran algunos criterios relacionados con truncamiento y convergencia de estratos.				78
Por la presencia del cuerpo intrusivo, se podría inferir que los ríos que limitan lateralmente al stock, podrían corresponder a zonas de falla, a las que los ríos se ajustaron.			Sí	81
Ambos flancos de la estructura anticlinal se hallan afectados por fallas transversales, que en algunos casos tienen además un desplazamiento vertical (d).				82
Se observan varias fallas transversales que afectan a las areniscas de ambos flancos				83
Se observan dos fallas. La primera corresponde a una falla transversal (F) de gran desplazamiento, que fue descrita anteriormente. La segunda,es la falla inversa longitudinal (W) que coincide con el eje de la estructura sinclinal, también descrita anteriormente.	Sí			85
La interrupción de estratos en el punto, podrían sugerir la presencia de una falla. Fallas transversales se observan en el área donde los estratos se hallan volcados.				86
La mayoría de los pliegues desarrollados en las rocas del Cretácico se hallan afectados por fallas longitudinales inversas cuya interpretación es complicada, como ocurre en los puntos 1 y 2. La estructura anticlinal en el Ordovícico, también se halla afectada en su eje por otra falla longitudinal inversa.	Sí		Sí	87

FALLAS GEOLOGICAS	INVER-SA	NORMAL	LINEA-MIENTOS	CODIGO
El río principal que corta las estructuras plegadas podría corresponder a una zona de fallamiento transversal. Fallas transversales menores que desplazan a bancos de calizas son muy frecuentes.				
Se observan dos fallas inversas entre el Ordovícico y las areniscas del Cretácico, cuya mecánica es muy complicada. Existen fallas transversales, que afectan al anticlinal secundario, desplazando transversalmente a los basaltos y a las areniscas de la formación La Puerta. Los basaltos se registran en tonos oscuros y se hallan por debajo de la areniscas La Puerta. Otra falla transversal importante es la que afecta a las calizas de la formación El Molino,que pasa por la localidad de Tambillo. Fallas transversales menores se observan en toda el área.	Sí			88
Como se indicó anteriormente, se observan tres fallas inversas longitudinales de importancia en el área. La primera y la segunda convergen en su extremo NW, para luego constituir una sola. La falla E2 corresponde a una falla de muy bajo ángulo, echando estratos del Ordovícico sobre las arcillas y areniscas Tarapaya y La Puerta-Condo?. Esta falla afecta al flanco Oeste del pequeño sinclinal de Esquena, donde por primera vez se colectó un bilobite, fósil importante del Cretácico. La Falla corta a los estratos del Cretácico, y además echa rocas Ordovícicas sobre Cretácicas, que en superficie adoptan una forma de cuña con la convergencia de la falla E2. La tercera falla E4, trunca el cierre de la estructura sinclinal en las calizas y al mismo tiempo afecta al núcleo y eje de una estructura anticlinal Ordovícica. Fallas Transversales también se observan.	Sí			89
Truncamiento de estratos, convergencia de estratos,estratos volcados y adelgazamiento de las formaciones La Puerta y El Molino sugieren la presencia de fallas inversas longitudinales entre rocas del Ordovícico y la base del Cretácico, ubicadas en ambos flancos de la estructura. Fallas transversales se observan en ambos flancos.	Sí			90
Es posible que entre la zona W con diques y la E sin diques, exista una falla de tipo logitudinal.			Sí	92
Se observan fallas transversales.			Sí	93
Se observa varias fallas longitudinales paralelas, ubicadas entre las rocas del Ordovícico y Terciario. Las rocas del Ordovícico corresponden al bloque hundido, mientras que los conglomerados corresponden a los bloques levantados que limitan la fosa. Uno de los principales criterios para la identificación de las zonas de falla,son los marcados lineamientos que se observan entre los contactos de las rocas del Ordovícico y del Terciario.		Sí	Sí	94
Truncamiento y convergencia de estratos, interrupción de estructuras, presencia de yesos de origen diapírico, lineamientos constituyen criterios importantes para considerar la presencia de varias fallas.	Sí	Sí	Sí	95

FALLAS GEOLOGICAS	INVERSA	NORMAL	LINEAMIENTOS	CODIGO
El truncamiento,convergencia y desplazamiento de estratos,interrupción de estructuras,alineamiento del río principal,pueden ser criterios para considerar la presencia de fallas.				98
Lineamientos, convergencia de estratos, y criterios estratigráficos sugieren la presencia de una gran falla longitudinal inversa que echa estratos de la formación Totora sobre la formación Crucero y Grupo Umala.	Sí		Sí	101
En el modelo se puede inferir la existencia de una falla en el flaco Oeste del sinclinal,por el truncamiento que ese flanco muestra y el alineamiento del río.	Sí		Sí	102
Por criterios estratigráficos y buzamiento de las rocas de edad Terciaria con relación a las areniscas de la Formación Orinoca, se puede inferir la presencia de una falla inversa				103
El río muestra un marcado lineamiento que puede sugerir fallamiento			Sí	106
Se observan fallas longitudinales.			Sí	108
La estructura sinclinal se halla afectada por fallas longitudinales y transversales de reducida longitud, circunscritas solo a la estructura.				109
La descripción realizada para el modelo estereocopico No 67, es válida para este modelo. Comparar ambos modelos, tomando en cuenta las escalas de ambas fotografías.				110
Fallas longitudinales ubicadas en los flancos de la estructura, pueden ser inferidas por los lineamientos que muestran. (F) Se observa una falla transversal con gran desplazamiento vertical ubicado a lo largo del río principal,que en ese sector se halla muy estrecho y profundo (U). A ambos lados de la falla,se puede apreciar un cambio en la litología.			Sí	111

ANEXO No. 6 MODELOS ESTEREOSCOPICOS

ANOMALIAS	VULCANISMO	INTRUSIONES	DIACLASAMIENTO	CODIGO
			Muy marcado-(dos direcciones)	12
			Sí	20
			En dos direcciones	24
			Sí	25
Tonal			Sí	27
Tonal			En dos direcciones	29
Tonal		Cuerpos menores bulbosos		30
			Areniscas muy diaclasadas	36
			Marcado en las areniscas	38
			En dos direcciones	41
	El área corresponde a la región volcánica de la cordillera Occidental de los Andes, que limita al Oeste con la República de Chile. Se trata de una cubierta de rocas, producto de la actividad volcánica, iniciada a principios del Terciario Medio.Al presente las unidades diferenciables en la serie volcánica aun no han sido totalmente definidas como unidades formacionales.			51
		Batolito Chucura	Muy marcado, caótico	76
			Muy diaclasada dos direcciones	77
			Muy importante en areniscas	78
		Sí	Muy acentuado	80
			Marcado en dos direcciones	84
Lineamiento				85
	Los basaltos son evidencia del vulcanismo ocurrido en el Cretácico.	Intenso en las areniscas		88
			Sí	93
		Batolito Chucura	Tres direcciones preferentes	104
De drenaje			En areniscas	111
Tonal, drenaje				16
Lineamientos				62
Lineamientos				18

ANOMALIAS	VULCANISMO	INTRUSIONES	DIACLASAMIENTO	CODIGO
Lineamientos			En dos direcciones	34
Lineamientos				64
Lineamientos				5
De drenaje			Sí	4
De drenaje				22
De drenaje				49
De drenaje	Actividad volcánica, estrato volcán			54
Drenaje Circular	Se observan pequeños conos volcánicos de salpicadura, cono de cinder, domos volcanicos. Derrame de lava. Formación de una pequeña meseta.		Sí	11
Drenaje			Sí	23
Drenaje			Débil	31
Drenaje			Marcado	35
Drenaje				43
Drenaje	Vulcanismo de fisura.	Muy pequeñas	Fino, en dos direcciones	44
Drenaje				50
Drenaje				68
Drenaje	Por la expresión morfológica, podría tratarse de un domo volcánico.			69
Drenaje				73
Drenaje				87
Drenaje				109
Drenaje - Forma	Se observan afloramientos de lavas de composición ácida a intermedia.	Sí	Marcado en las lavas	15
Forma	Se observa una cerro aislado de forma cónica, que podría sugerir la presencia de un cono volcánico.Sin embargo se trata de efectos de la erosión en un encape de basaltos (B) de acuerdo al tono fotográfico.		Marcado en conglomerados	101
Forma	El área corresponde a la región volcánica de la Cordillera Occidental de los Andes. Se trata de un cono volcánico muy erodado, con cráter totalmente destruido, tipo estrato volcán. En la terminal de la ladera Norte del co-			107

ANOMALIAS	VULCANISMO	INTRUSIONES	DIACLASAMIENTO	CODIGO
	no, se observa algunas formas redondeadas aplanadas en su tope que podría corresponder a un remanente de un encape de lavas, que por efecto de la erosión adopta esa forma. Otra posibilidad que podría considerarse para explicar esas formas,es la de asimilarlas con formas dómicas de dimensiones pequeñas.			
Forma				110
Forma - drenaje				70
Forma-drenaje-tonal		Stock		82
Forma-tonal-drenaje		Stock		81
Geomórfica		Posible en profundidad		71
Lineamiento		Sí	En areniscas	102
Lineamientos			muy marcado	37
Lineamientos		Composición granítica	Muy marcado	65
Lineamientos			Muy intenso	66
Lineamientos		Batolito	En areniscas y roca ígnea	75
Lineamientos		Dique ígneos - Sills		91
Lineamientos	Se observan efusiones basálticas y dacíticas.	Dique ígneo en Ordovícico		94
Tonal				8
Tonal				9
Tonal	Las consideraciones hechas en el modelo 51, son válidas para este modelo.			52
Tonal - Forma	La actividad volcánica ha dado lugar a varios derrames de lavas, tobas que se hallan interestratificadas con areniscas, conglomerados, que en el área han sido designadas con varios nombres formacionales, como Mondragón, San Roque-Agua Dulce, Cantería.	Stock		79
Tonal - Drenaje				10
Tonal - Forma				96
Tonal - Forma	En el extremo Norte del modelo, se obser-	Stock		63

ANOMALIAS	VULCANISMO	INTRUSIONES	DIACLASAMIENTO	CODIGO
	van los últimos afloramientos de las lavas e ignimbritas que constituyen la Meseta de Morococala.			
Tonal - Relieve		Stock		40
Tonales			Muy acentuado	2
Tonales			Muy marcado en areniscas	13
Tonales			Sí	42
Tonales	Se observa una cubierta de lavas, de composición riolítica y dacítica, que corresponde al borde terminal Sur de la Meseta de Morococala. Podría tratarse de un volcanismo de fisura.		En dos direcciones en Lavas	45
Tonales - Drenaje				6
Tonales-Lineamientos	Sí			95
Lineamiento				61
Lineamientos			Marcado en dos direcciones	32
Lineamientos				47
Drenaje - Tonal		Sí		48
Lineamiento	Las lavas e ignimbritas, constituyen el borde extremo sur de la Meseta de Morococala.		En dos direcciones	106
Lineamiento (L)				97
Lineamientos				26
Lineamientos		Diques ígneos - Sills		92
Tonal	El área presenta las mismas condiciones geológicas que la descrita en el modelo estereoscópico 51.			53
Tonal	Las consideraciones hechas para el modelo 52, son válidas para este modelo. Las variaciones de tonos claros a gris oscuros de las lavas e ignimbritas,pueden sugerir cambios en la composición general de estas rocas.		Muy marcado - dos direcciones	105

ANEXO No. 7 MODELOS ESTEREOSCOPICOS

GLACIACION	EROSION	DEPOSICION	FLUVIO GLACIAL	CODIGO
La glaciación es el proceso más importante que se observa. Entre las formas de erosión y deposición, se hallan pequeños circos, valles con desarrollo de escaleras glaciares, morrenas terminales, morrenas de fondo.	Circos, escaleras	Morrenas terminales, laterales		2
El modelo es un ejemplo tipo de un paisaje de glaciación asociado a depósitos y formas de acumulación glacial.		Morrenas laterales	Sí	7
Se observa formas de erosión y deposición glacial.	Pequeños circos	Morrenas laterales	Sí	11
Se observan remanentes de formas de erosión y deposición glacial.	Circos,aretes,valles	Morrenas laterales	Sí	15
			Posible existencia	43
Se observan rasgos de glaciación	Sí	Morrenas laterales	Depósitos fluvio-glaciares	47
Se observan rasgos de glaciación		Morrenas laterales		51
Se observa en la zona del cráter, algunos efectos de erosión glaciar.	Sí			53
Se observan efectos de glaciación muy incipiente.				54
Los efectos de la acumulación y erosión glaciar son los que predominan en el modelo	Valles	Morrenas laterales	Llanuras fluvio-glaciares	61
En el extremo Sur Oeste del modelo, se observan algunos rasgos de glaciación asociadas con las partes mas elevadas de la zona.	Circos	Incipiente	Depósitos al E. de Uncía	63
Los procesos de erosión y acumulación glaciar han participado en forma activa en el modelado del paisaje. Se observa algunos glaciares de circos, caracterizados por sus di-	Circos-aretes-valles	Morrenas terminales	Depósitos	65

GLACIACION	EROSION	DEPOSICION	FLUVIO GLACIAL	CODIGO
mensiones muy pequeñas. Entre las principales formas de erosión se hallan algunos circos, aretes glaciares y la cabecera de un valle glaciar. Los principales depósitos de glaciación son pequeñas morrenas terminales de retroceso (m), ubicadas al pie de algunos pequeños glaciares de circo. Otros depósitos y formas muy comunes en el área son los escombros y conos de Talud (T).				
Formas de erosión glaciar son comunes en todo el modelo. Las formas de acumulación fluvial (morrenas) solo se observan en el borde NW del modelo.	Circos	Morrenas terminales		66
Los procesos de glaciación han participado en el modelado inicial del paisaje.	Sí	Sí	Sí	67
		Importante	Morrenas laterales	73
Glaciación de montaña.- Se observa un típico ejemplo de un valle glacial en el que se puede identificar las escaleras glaciales con sus partes componentes huella (h), contra huella (u),mamperlan (m),lagos en rosario (Q). Valles colgantes (Vc) afluentes, atacados por procesos fluviales actuales se observan en el margen Oeste del valle principal. Los efectos de glaciación son tan marcados que dificultan la identificación de las características geológicas de la foto.	Circo,valle,aretes	Morrenas laterales, terminales, de fondo		75
	Circos y Tarns	Morrenas laterales, terminales y de fondo.	Sí	76
Las formas de glaciación de Montaña más importantes que se observan en el modelo son las debidas a procesos de erosión, siendo los circos glaciares, lagos Tarn y aristas o aretes glaciares los más comunes. Existen algunos remanentes de formas de acumulación glaciar como pequeñas morrenas laterales.	Circos- Aretes	Morrenas laterales	Sí	77
Se observan una gran cantidad de pequeños circos glaciares, valles glaciares, morrenas laterales y terminales. En muchos	Circos- valles	Morrenas laterales, terminales	Sí	78

GLACIACION	EROSION	DEPOSICION	FLUVIO GLACIAL	CODIGO
sectores es posible inferir las etapas de retroceso que han sufrido algunos de esos pequeños glaciares,por las varias posiciones que toman las morrenas laterales,indicando cada morrena una posición de retroceso del glaciar (m)				
En el Sector Este del modelo se observan las partes terminales de algunas morrenas laterales producto de la glaciación ocurrida en la serranía del Kari Kari, ubicada en la parte Este del área.		Morrenas laterales	Depósitos fluvio-glaciares	79
Este modelo constituye un ejemplo típico de los efectos producidos por los procesos de glaciación de montaña. Se puede observar procesos y formas actuales de glaciación tales como campo de nieve, lenguas de glaciales en retroceso. Las formas de erosión glaciar que se observan en el área corresponden a circos glaciales, aretes glaciales, valles glaciales y escaleras. En el valle glaciar principal, se observa diferentes morrenas laterales que indican la merma vertical y horizontal ocurrida durante la glaciación. De igual manera la posición de las diferentes morrenas terminales indican las etapas de retroceso de ese glaciar.	Circo glacial	Morrenas laterales y terminales		80
La glaciación ha afectado al aérea, se observa el desarrollo de pequeños circos glaciares, morrenas laterales muy bien preservadas (M).	Circos, aretes	Morrenas laterales	Depósitos fluvioglaciares	81
Los procesos de glaciación han dejado impresas en el paisaje varias formas de erosión y acumulación glaciar.Se observan circos glaciares, cuyo piso se halla desarrollado sobre el cuerpo intrusivo (s), mientras que las crestas y aretes glaciares se hallan esculpidos en las arenicas metamorfizadas de la formación Llallagua. Morrenas laterales se hallan bien distribuidas en ambas laderas de la serranía, de manera que enmascaran y cubren gran parte de las rocas sedimentarías. Se supone que la posterior acción fluvial, ha acarreado material glacial que puede incluir algunas concentraciones anómalas de casiterita, pro-	Circos, aretes	Morrenas laterales	Depósitos fluviogla ciares	82-

GLACIACION	EROSION	DEPOSICION	FLUVIO GLACIAL	CODIGO
ducto de la erosión glaciar de algunas vetas ubicadas en las áreas de mayor erosión glaciar, estas concentraciones anómalas constituyen los depósitos fluvioglaciares ubicados en los ríos en los que desembocan los valles glaciares.				
El área ha sido sometida a procesos de glaciación	Circos	Morrenas laterales	Sí	83
Las formas de glaciación debida a procesos erosivos son de mayor distribución que las debidas a deposición glaciar, las cuales se hallan muy reducidas en dimensiones y limitadas a algunos valles colgantes afluentes al valle glaciar principal, por donde fluye el actual río Zongo. El modelo muestra ejemplos de glaciares actuales en etapa de retroceso, caracterizados por una intensa merma glaciar tanto horizontal como vertical.	Valles - Circos	Morrenas laterales, terminales		104
Por razones de escala, en este modelo los procesos de glaciación y fluvioglaciares pueden ser mejor apreciados que en el modelo No 67.			Depósitos de gran espesor	110

ANEXO No. 8 MODELOS ESTEREOSCOPICOS

DISEÑO DE DRENAJE	DISEÑO DE TONO	TEXTURA DE TONO	DENSIDAD DE DRENAJE	CODIGO
		Aspera en areniscas	Media a baja	2
			Suave	3
	Amigdoidal-Bandeado	Suave a intermedia		24
	Bandeado	Aspera en areniscas	Baja a media	47
	Bandeado	Suave a media		8
	Bandeado	Media a áspera		9
Angular en lavas - Dendrítico	Bandeado en rocas sedimentarias	Aspera en roca ígnea	Variable	106
Anular y dendrítico local		Aspera	Media	44
Complejo		Suave	Media a baja	67
Complejo		Aspera	Media a baja	76
Complejo		Aspera	Baja	80
Complejo		Aspera	Baja	104
Complejo	Amigdoidal-Oval	Aspera	Media	66
Complejo	Bandeado	Aspera en areniscas	Variable	95
Complejo	Bandeado	Suave	Baja	103
Complejo (Parrilla - Dendrítico)	Bandeado	Aspera en areniscas	Media	90
Complejo - Dendrítico local	Bandeado - Amigdoidal en sectores	Aspera en conglomerados	Alta en arcillas Umala	101
Complejo - Dendrítico local	Amigdoidal	Suave	Media a alta	91
Complejo - Dendrítico local	Bandeado	Suave	Media	71
Complejo		Aspera	Variable	75
Complejo - (Angular)		Aspera	Media	65
Complejo - Dendrítico local	Bandeado-Amigdoidal	Suave en lutitas	Variable	98
Complejo-Parrilla-Dendrítico local	Bandeado	Variable	Variable	102
Complejo	Bandeado	Aspera en areniscas	Variable	88
Complejo - Parrilla - Dendrítico	Bandeado difícil identificar	Aspera	Media a alta en conglomerados	16
Dendrítico		Suave	Alta	99
Dendrítico pinado en arcillas	Bandeado	Aspera en areniscas	Baja	19
Dendrítico muy enmascarado	Amigdoidal y bandeado en sectores	Muy áspera en arenisca	Media	13
Dendrítico localmente	Bandeado	Variable - Suave en lutitas	Variable-Fina en lutitas	40
Dendrítico		Suave	Alta	17
Dendrítico		Suave	Alta	18
Dendrítico		Suave	Alta	39
Dendrítico		Suave en arcillas	Variable	55

DISEÑO DE DRENAJE	DISEÑO DE TONO	TEXTURA DE TONO	DENSIDAD DE DRENAJE	CODIGO
Dendrítico		Suave	Alta a media	62
Dendrítico		Aspera en conglomerados	Media	74
Dendrítico		Aspera	Media	77
Dendrítico		Aspera	Variable	78
Dendrítico		Suave	Alta	99
Dendrítico		Suave	Alta	100
Dendrítico		Suave	Variable	110
Dendrítico	Amigdoidal	Media a áspera		26
Dendrítico		Suave a intermedia	Media	49
Dendrítico - Meándrico		Media	Media en conglomerados	96
Dendrítico - Radial		Suave	Media a alta	48
Dendrítico en arcillas - Parrilla	Bandeado	Suave	Variable	56
Dendrítico en arcillas y lutitas	Amigdoidal	Aspera en areniscas	Alta en arcillas y lutitas	41
Dendrítico local	Amigdoidal-Bandeado	Suave	Media	27
Dendrítico local	Bandeado	Suave		6
Dendrítico muy alta densidad		Suave - Media		5
Dendrítico - Dendrítico Tenaza		Suave	Media	109
Dendrítico. En lavas angular	Bandeado	Aspera en areniscas y lavas	Media- En lavas baja	45
Dicotómico		Suave en depósitos aluviales	Baja	43
Dicotómico - Centripetal		Suave	Baja	60
Dicotómico en abanicos aluviales		Suave	Baja y media en areniscas	1
Dicotómico en abanicos aluviales	Bandeado	Aspera en areniscas	Media	84
Dicotómico en depósitos aluviales	Bandeado	Muy áspera en roca		12
Dicotómico o distributivo		Suave	Baja	59
Difícil de definir	Bandeado	Suave a intermedia		108
Dendrítico local	Bandeado	Suave en lutitas	Alta en lutitas	86
Dendrítico local	Bandeado	Aspera en lavas, areniscas	Variable	63
Dendrítico local	Bandeado	Suave a media	Alta a media	46
Dendrítico local - Parrilla		Suave	Media a alta	92
Meándrico			Baja	58
Meándrico	Bandeado	Suave en las dunas	Baja	113
Meándrico	Moteado	Suave	Media	22
Meándrico y trenzado en rió principal	Bandeado	Aspera en rocas	Media	31
Meándrico - Dendrítico en conglomerados	Moteado		Variable	68
Parrilla dendrítico local	Bandeado	Aspera en areniscas	Media	83
Parrilla modificado - Centripetal	Amigdoidal-Bandeado	Suave a media	Media a baja	21

DISEÑO DE DRENAJE	DISEÑO DE TONO	TEXTURA DE TONO	DENSIDAD DE DRENAJE	CODIGO
Parrilla curvado	Bandeado	Aspera a media	Baja a media	50
Parrilla	Amigdoidal-Bandeado	Aspera - Suave	Media	25
Parrilla	Bandeado	Aspera	Media	23
Parrilla	Bandeado	Suave	Media a baja	28
Parrilla	Bandeado	Aspera en areniscas	Media	36
Parrilla	Bandeado	Aspera	Media	37
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Aspera - Suave	Media en conglomerados	35
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Aspera en areniscas	Variable	85
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Aspera en areniscas	Media	32
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Media Aspera en areniscas	Media - Alta en arcillas	33
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Aspera en areniscas	Media	34
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Aspera	Media	93
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Aspera en areniscas	Media a alta	111
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Media - Suave		4
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Suave en arcillas	Muy altas en arcillas yesíferas	30
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Aspera en areniscas	Media	38
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Aspera en areniscas	Alta a media	42
Parrilla - dendrítico local		Aspera	Media	72
Parrilla - dendrítico local trenzado	Bandeado y Amigdoidal	Aspera Suave media	Variable	20
Parrilla	Bandeado	Aspera en areniscas	Media	29
Parrilla modificada		Aspera	Media	10
Parrilla - dendrítico en arcillas	Bandeado-Amigdoidal en sectores	Suave	Variable	89
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Suave en grupo Chaco	Alta en grupo Chaco	97
Parrilla - dendrítico local		Suave en lutitas	Media	81
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Aspera en areniscas	Media	73
Parrilla - dendrítico local	Bandeado	Suave en arcillas	Variable	87
Pinado		Suave	Media a baja	61
Radial Local	Bandeado en rocas arcillosas	Aspera en las areniscas	Media	14
Radial		Aspera	Baja	51
Radial		Aspera	Baja	52
Radial		Aspera	Baja	53
Radial	Bandeado	Aspera	Media	82
Radial - Dendrítico		Aspera en la anomalia	Media	70
Radial - Dendrítico		Aspera	Alta a media	107
Radial - Dendrítico		Aspera en lavas	Variable	79
Radial anular		Aspera a suave	Variable	69
Radial modificado		Aspera		15

DISEÑO DE DRENAJE	DISEÑO DE TONO	TEXTURA DE TONO	DENSIDAD DE DRENAJE	CODIGO
Radial y Rectangular		Aspera	Media	54
Rectagular - Radial		Aspera		11
Rectangular		Aspera	Media	105
Trenzado y anárquico localmente		Suave		7
Trenzado y anárquico localmente		Suave		7
Variable	Bandeado	Aspera en areniscas	Variable	64
Variable - Dendrítico en Ordovícico	Bandeado	Aspera en conglomerados	Alta en rocas ordovícicas	94

La presente edición de 1.000 ejemplares, se terminó de imprimir el día 28 de mayo de 1992 en los talleres gráficos del Comité Ejecutivo de la Universidad Boliviana, Av. Arce 2606, en la ciudad de La Paz - República de Bolivia.



El Ingeniero Edgar Vargas Córdova, egresó de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Mayor de San Andrés en La Paz Bolivia, realizó estudios de post-grado en Delft - Holanda, en el International Training Center for Aerial Survey ITC, habiendo obtenido el título de Fotogeólogo ITC. Posteriormente, obtuvo el título de Master of Science en la Universidad de Sheffield - Inglaterra.

Catedrático de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Mayor de San Andrés durante 27 años, fué declarado en 1990 por el Honorable Consejo Universitario, Profesor Emérito de la Universidad Mayor de San Andrés. Profesor invitado de la Universidad Libre de Berlín en los años 1975 y 1988.

En la Universidad Mayor de San Andrés ejerció, los cargos de Vice-Decano y Decano de la Facultad de Ciencias Geológicas en 1970, Director del Centro de Investigaciones Geológicas, Jefe del Departamento de Geociencias de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales, Director de Estudios de la Facultad de Ciencias Geológicas..

Ha desempeñado varios cargos en el Banco Minero de Bolivia, Servicio Geológico de Bolivia, Proyecto de Levantamiento de la Cordillera y el Altiplano (GEOBOL-NNUU) Ministerio de Planeamiento y Coordinación, Plan de Desa-rrollo Urbano de la ciudad de La Paz (H. Alcaldia Municipal - Consultoras francesas B.R.G.M y B.C.O.M.)

Fue Secretario General de la Comisión Nacional de Estudios Geofísicos, Presidente de la Comisión Nacional de Geografía - Sección Nacional del Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Presidente de la Asociación de Docentes de la Facultad de Ciencias Geológicas. Actual Presidente de la Sociedad Geológica Boliviana. Autor de varias publicaciones técnicas.

Impreso: Imp. C.E.U.B.