

**Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería.  
Escuela de Ingeniería Geológica. Materia: Fotogeología.  
Prof. Julián A. Gutiérrez. Mérida, Enero de 2.005**

## **GUÍA TEÓRICA DE FOTOGEOLOGÍA**

**Nota:** esta guía es un documento preliminar, en continua redacción y revisión, es producto de la revisión, en algunos casos traducción, de diferentes libros y documentos, se han obviado las citas. Es para uso exclusivo de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes. Se recomienda revisar mas profundamente la bibliografía al final del texto. Se agradece comunicar al compilador cualquier error.

Prof. Julián A. Gutiérrez.    E-mail: [jgutie@ula.ve](mailto:jgutie@ula.ve)    <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/>

**Contenido**

Tema 1: DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE FOTOGEOLOGÍA.	página 2
- Definición y objeto de la fotogeología	
- Utilidad y tipos de fotografías aéreas e imágenes de radar	
- Importancia de los estudios fotogeológicos. Avances recientes	
- Medidas Fotogramétricas. Paralaje	
Tema 2: ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO DEL RELIEVE	17
- Importancia de la fotointerpretación del relieve, definiciones	
- Elementos básicos para su reconocimiento e interpretación.	
- Características fundamentales.	
Tema 3: ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO DE LAS ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.	25
- Definiciones básicas. Importancia.	
- Reconocimiento e interpretación de las expresiones morfológicas estructurales: Fallas, Alineamientos geológicos, pliegues, geosinclinales, etc.	
Tema 4: ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO DE LAS ROCAS	29
- Definiciones básicas. Importancia.	
- Reconocimiento e interpretación. Elementos fundamentales para su fotointerpretación:	
a) Reconocimiento e interpretación de las rocas ígneas.	
b) Reconocimiento e “ “ sedimentarias	
c) “ “ “ metamórficas	
- Bibliografía	38

## Tema 1: DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE FOTOGEOLOGÍA.

### 1.1.- Definición y objeto de la fotogeología

Se puede considerar la **Fotogeología** como aquella rama de la fotointerpretación encargada de estudiar los sucesos geológicos a través de las fotografías aéreas. **Objeto de la Fotogeología:** el objeto de la fotogeología es el estudio de la superficie terrestre, de los diversos materiales que la integran y de las huellas dejadas sobre ellos por la serie de procesos a los que han estado sometidos a lo largo de los tiempos geológicos. El estudio de la fotogeología abarca la estratigrafía, litología, geología estructural, geomorfología, tectónica, hidrogeología, y, en resumen, todas las ramas de la geología que admitan para su estudio una escala macroscópica. Hay ramas que se salen de su campo, como pueden ser la paleontología, paleobotánica, mineralogía, y en general, cualquier técnica que necesite una escala reducida de trabajo, aunque modernos métodos de estudio por **sensores remotos** permiten determinar **la presencia de minerales** por sus curvas de reflectancia.

Además, de los trabajos puramente geológicos, el uso de la fotogeología se hace cada vez mas imprescindible en obras públicas, localización de materiales de construcción, trazado de carreteras y canales, estudios de embalses, búsqueda de minerales, etc. El fotogeólogo reúne e interpreta datos igual que lo puede hacer el geólogo de campo, la única diferencia estriba en la distinta escala a la que trabajan uno y otro. La gran perspectiva que ofrecen las fotos aéreas y la exageración del relieve que se logra en la visión estereoscópica permite un claro enfoque de los problemas y una gran precisión de dibujo.

Como en cualquier otra técnica, en fotogeología es sumamente importante la experiencia y práctica del intérprete. Además de tener los conocimientos precisos y necesarios de un buen geólogo, la **visión de conjunto** que permite la fotografía le obliga a actuar con un criterio de selección distinto al que tiene el geólogo de campo. En algunos casos, las características de la zona de estudio son tan patentes que cualquier geólogo familiarizado con la visión de relieve puede, en una primera ojeada, saber qué tipo de materiales la forman, si están estratificados o no, dirección y buzamiento de los estratos, pliegues, etc. Otras veces sólo se llega a una conclusión después de un detenido análisis de todos y cada uno de los rasgos del terreno, y es aquí donde la larga experiencia del fotogeólogo puede ser decisiva.

También en fotogeología existe el problema de transmitir a los demás lo que se denomina “ojo clínico”, es decir, esa serie de pequeñas observaciones y detalles, hijos de una larga práctica, en los cuales se basa el intérprete, muchas veces inconscientemente, para llegar a conclusiones acertadas. Se pueden dar criterios y características generales de las rocas, eficaces para identificarlas geológicamente, pero es difícil resumir en unas cuantas explicaciones ese complicado proceso mental analógico por el cual un fotogeólogo experimentado, a la vista de un par estereoscópico, puede decir inmediatamente: esto es granito.

**Limitaciones y ventajas de la fotogeología:** se tiene la creencia de que la fotogeología es una disciplina que necesita una continua contrastación de campo, esto es verdad pero solo hasta cierto punto. En la formación básica de un fotogeólogo debe estar presente una buena formación de trabajos prácticos de campo, pero ésta misma formación la necesita el mineralogista, el petroquímico y, en general, cualquier geólogo sea cual sea su especialidad. Desde luego la fotogeología tiene una serie de limitaciones para las cuales resulta de gran ayuda, y en muchos casos imprescindible, confrontar el trabajo fotogeológico en el campo, bien lo haga el propio fotogeólogo o su equipo, sin embargo, la Prof. Julián A. Gutiérrez. E-mail: [jgutie@ula.ve](mailto:jgutie@ula.ve) <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/>

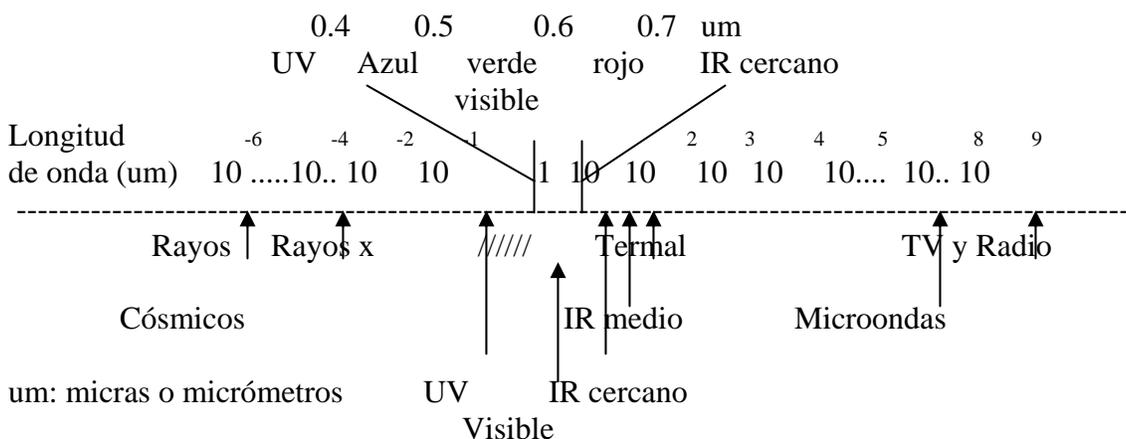
fotogeología es una técnica independiente que puede mantenerse por sí sola. Cuanto mas se aíse del campo el fotogeólogo mas correrá el riesgo de convertirse en un “geólogo de laboratorio”, pero, insistimos, igual les ocurre a los mineralogos, geoquímicos, etc.

Un mapa geológico exclusivamente realizado con fotografías aéreas ofrece una serie de aciertos y errores característicos, diferentes a la de los mapas realizados “pie a tierra”. Entre los aciertos podrían contabilizarse la precisión de los contactos, estructuras, fallamientos y aquellas características derivadas de una visión de conjunto, y en los defectos la pobreza del estudio litológico, ya que solo se pueden clasificar sin grandes errores los materiales mas simples (granitos, gneises, yesos, pizarras, etc.). En el estudio sistemático de un área realizado con las fotografías aéreas puede localizarse cualquier afloramiento que en el campo pasaría desapercibido. Por eso es conveniente hacer estudios fotogeológicos previos al trabajo de campo donde quedan esbozados y planteados los problemas fundamentales y localizadas las zonas idóneas donde se pueden resolver.

### - El Espectro Electromagnético.

Todo sistema de detección cuyo resultado sea una fotografía o una imagen se basa en el registro de las longitudes de onda reflejadas o emitidas por los cuerpos y su transformación en una imagen visible, que puede ser estudiada y analizada fácilmente. **La ordenación de las ondas electromagnéticas**, según su frecuencia o longitud de onda, recibe el nombre de **Espectro Electromagnético** (ver figura), espectro continuo, aunque para su estudio se divida en bandas atendiendo al sistema de generación de percepción y a sus características energéticas. Sólo una pequeña parte del espectro, la comprendida entre 0,4 y 0,7  $\mu$ , puede ser captada por el ojo humano y los sistemas convencionales de fotografía; 0,25 hasta 1,1 por películas especiales llamadas infrarrojas, y para radiaciones superiores a ésta longitud de onda se necesitan otros tipos de sensores llamados óptico-electrónicos.

La captación de longitudes de onda con fotografías y sensores remotos instalados a bordo de aviones y plataformas espaciales depende no solo de la existencia de películas y detectores sensibles a una radiación determinada, sino también, de la existencia de ventanas atmosféricas, llamando así a aquella parte del espectro donde la atmósfera no juega un papel perturbador y permite pasar algún tipo de radiaciones.



**Figura.- Espectro Electro-Magnético**

Evidentemente, las imágenes tomadas utilizando longitudes de onda diferentes a las del espectro visible aportan un tipo distinto de información, ya acentuando características observables o medibles en las fotografías aéreas convencionales ya aportando otras nuevas no registrables en ese sector del espectro. Así, los detectores sensibles a las radiaciones del infrarrojo térmico dan imágenes de distribución de temperaturas en el cuerpo objeto que informan sobre la distribución de fuentes de calor, diferencias de humedad del terreno, e incluso de su composición mineralógica, deducida de su inercia térmica; las imágenes obtenidas por la reflexión de ondas de radar nos proporcionan características tectónicas del terreno e identificación de pliegues, con cierta independencia del recubrimiento de nubes, mantos vegetales, etc.

La introducción de sistemas electrónicos de registro ofrece la ventaja de poder enviar a tierra datos desde satélites, además de su fácil almacenamiento y el poder procesar digitalmente la información obtenida, sometiendo la imagen a un análisis que permita diferenciar aún mas las características buscadas.

## 1.2.- Utilidad y tipos de fotografías aéreas e imágenes de radar.

El desarrollo de los satélites, sensores remotos y ordenadores ha originado un gran auge de la teledetección, principalmente en los años setenta, y siguientes, auge que no solo no ha relegado el **uso de las fotografías aéreas** sino que lo ha incrementado, ya que por su bajo coste, fácil adquisición, gran escala y visión en relieve, son las fotografías aéreas la herramienta primaria del fotogeólogo y son imprescindibles en los estudios realizados con imágenes de satélite.

Y es que ningún ordenador ni técnica espectral puede sustituir por completo al cerebro humano en ese complicado proceso de apreciar los datos útiles, suprimir los superfluos, saber cuándo dos texturas son distintas a ambos lados de una línea recta corresponden a diferentes cultivos o a un contacto por falla o reconocer de un vistazo si una estructura es sinclinal o anticlinal. Se da por descontado que las imágenes tomadas con sensores óptico-electrónicos ofrecen posibilidades extraordinarias, y en muchos aspectos únicas, aquí sólo se trata de insistir de que el fotointérprete debe ante todo saber qué le puede pedir a cada técnica y alcanzar los mayores rendimientos con el menor coste posible de energía y material; es decir, saber interpretar visualmente una imagen antes de someterla a complicados tratamientos digitales.

**Para interpretar geológicamente** una fotografía o imagen, sea cual sea su escala y registro espectral, es necesario **poseer unas nociones claras de fotogeología, interpretación de estructuras, análisis geomorfológico y cómo se presentan las diversas litologías y demás rasgos del terreno**. Las fotografías convencionales siguen siendo la base principal del estudio fotogeológico, por diversas razones:

- Existen vuelos fotográficos, fácilmente adquiribles, de la mayor parte del mundo.
- Su bajo coste, en comparación de las otras técnicas
- Las fotos aéreas convencionales proporcionan información sobre los materiales de la superficie terrestre bastante acorde con la percepción que de ellos tiene el ojo humano.
- En fotogeología no se analizan rasgos individuales, sino una serie de detalles como textura, drenaje, disposición de los materiales, fracturación, etc., en cuyo conjunto se basa el fotointérprete para su análisis del terreno y conclusiones. Por tanto, su familiarización con las fotos en blanco y negro le sirve

de base para el posterior reconocimiento de los rasgos geológicos cuando utiliza otro tipo de fotografías e imágenes.

### - Tipos de fotografías aéreas:

- **Fotografías en blanco y negro (pancromáticas):** están tomadas con película pancromática muy rápida, sensible a todas las longitudes de onda del espectro visible (es decir entre  $0,4$  y  $0,7 \mu$ ) y aún más sensibles en los extremos de la escala cromática que el ojo humano, por lo que registran una serie de detalles que a simple vista pasarían desapercibidos. Son películas de grano fino, gran sensibilidad y poder de resolución, que permiten un buen contraste, su gama de grises es reducida.

- **Fotografías en color:** son sensibles a las longitudes de onda del espectro visible (entre  $0,4$  y  $0,7 \mu$ ), están formadas por tres capas amarillo, magenta y cian, sensibles a las longitudes de onda correspondientes a los colores azul, verde y rojo, respectivamente. Estos tres colores básicos permiten la obtención de toda la gama del espectro visible, aunque con una linealidad distinta a la del ojo humano (los colores obtenidos fotográficamente no coinciden exactamente con los visuales), lo que no ofrece ningún inconveniente para la fotointerpretación fotogeológica, siempre que se tenga en cuenta.

Las fotografías en color ofrecen todas las ventajas de las fotografías pancromáticas, además de una mayor facilidad para la identificación de materiales, al aportar los cambios de matiz y el matiz característico, dato que falta en las fotografías en blanco y negro, en las que el único elemento de juicio sobre el color de una roca es el cambio de intensidad del negro dentro de una gama reducida de grises.

### Son aconsejables en:

- la separación entre verdes y rojos, que en la fotografía pancromática aparecen en el mismo tono de gris
- estudios fluviales y marinos, por la mejor sensibilidad de la película en la zona azul-violeta del espectro, que en las pancromáticas queda prácticamente eliminada por el empleo de filtros. Esto permite una visión por transparencia de los volúmenes de agua, lo que la hace recomendable para: **estudios de bajos fondos fluviales y marinos, diferenciar masas de agua de distinta composición y temperatura, salidas de agua dulce al mar** (deltas sumergidos, corrientes costeras, contaminación de aguas, mareas, estudios de puertos, transporte de sedimentos), **diferenciación de grupos litológicos muy próximos entre sí, que no han podido separarse por sus características morfológicas ni topográficas** (granitos, sienitas, grandioritas),
- estudios de estructuras arrasadas (**sinclinales y anticlinales erosionados**)
- estudios de **afloramientos** dispersos, por el contraste que ofrece el color de las rocas con el del recubrimiento
- estudios de zonas de montañas (facilitan el estudio de partes sombreadas)
- estudio de **zonas mineralizadas**, por ejemplo, en la prospección de minerales radiactivos en terrenos sedimentarios, al facilitar la localización y seguimiento de niveles de areniscas reductoras grises, bien directamente o previa localización de niveles ocres de alteración epigenética, ya que los yacimientos de uranio van íntimamente asociados con estos niveles reductores grises.

Los inconvenientes de las fotografías en color son los costos (muy superiores a las pancromáticas) y, su extensión y comercialización está limitada a vuelos especiales efectuados por encargo.

- **Fotografía Infrarroja en blanco y negro:** son sensibles a la zona del espectro comprendida entre las 0,25 y 0,92  $\mu$ , pero se filtra la zona inferior para eliminar las zonas ultravioleta, azul y verde, por lo que la sensibilidad efectiva queda situada entre las 0,57 y 0,92  $\mu$ . Las fotografías infrarrojas no son sensibles a la luz difusa o polarizada, no influyendo la dirección de los rayos solares en el momento de la exposición. En la actualidad están siendo desplazadas por las películas de infrarrojo color o falso color, y sobre todo por las imágenes obtenidas por sensores remotos.

- **Fotografías en Infrarrojo color:** son sensibles a las radiaciones comprendidas entre las 0,40 y 0,9  $\mu$ . También se llaman falso color por la falta de correspondencia que existe entre los colores registrados en la película y los que el ojo humano percibe en los objetos fotografiados. Así, los colores originalmente verdes en las fotografías en falso color aparecen azules; los rojos aparecen verdes, y los infrarrojos rojos. Son aconsejables para trabajar en:

- zonas de baja visibilidad (nieblas, brumas, calina, polvo) por la claridad de detalle obtenida por la mayor difusión de los tonos rojos e infrarrojos en las partículas atmosféricas.
- estudios forestales y agrícolas, debido a que la clorofila refleja la mayor parte de la radiación infrarroja, una planta aparecerá en las fotos con tonos rojos tanto mas brillantes cuanto mayor sea la concentración de clorofila, esto permite: hacer inventario de plantaciones (diferenciando unas especies de otras), detectar plagas y enfermedades (la concentración de clorofila disminuye en las plantas atacadas).
- estudios relacionados con el agua, al ser ésta absorbente de los rayos infrarrojos su superficie aparece totalmente negra, destacando con claridad sobre la roca o vegetación que la circunda.

En geología, **la fotografía infrarroja tiene aplicación limitada**, porque las rocas reflejan menos energía infrarroja que las plantas. Algunos minerales sí tienen signatura espectral pero para estudiarlas adecuadamente es necesario acudir a los datos obtenidos por sensores remotos.

### - Fotografías Aéreas Verticales.

Según el ángulo de toma, las fotografías aéreas **pueden ser verticales**, cuando el eje óptico de la cámara coincide con la vertical de lugar del campo fotografiado, **y oblicuas**, cuando la toma se realiza con un ángulo respecto a esta vertical, que normalmente oscila entre los 10 y 30 grados, pudiendo ser mayor en las fotografías tomadas desde satélites artificiales. En fotogeología se trabaja casi exclusivamente con fotografías verticales por suministrar una información mas completa para los fines perseguidos. Las mas empleadas son las fotografías en blanco y negro tomadas con película pancromática sensible entre 4.000 y 7.000 Å, por ser las ondas comprendidas en el espectro visible. Con el fin de intensificar el contraste, es frecuente el empleo de filtros con tonos azulados.

### - Toma de una fotografía vertical.

Como se dijo anteriormente, en las fotografías verticales el eje óptico de la cámara coincide con la vertical del lugar del campo fotografiado, si dicha coincidencia no es absoluta, la desviación puede ser atribuida a dos causas: **cabeceo** del avión en el momento de la exposición, o, inclinación de las alas, o **alabeo**. Actualmente, los modernos métodos de navegación aérea permiten obtener fotografías con una desviación mínima de la vertical, error despreciable frente a otros introducidos por diversas causas, como distorsiones de los bordes, terreno accidentado, etc.

La toma de las fotografías suele ser sistemática, barriendo por completo la zona seleccionada, cada pasada fotográfica de un avión se denomina banda, y al final de cada una se invierte el sentido de vuelo para empezar una banda paralela a la anterior. **El número de bandas necesario** para recubrir fotográficamente un terreno depende de la escala de la fotografía, que a su vez depende de la altura de vuelo y la distancia focal de la lente con que se trabaja. Por ejemplo, para recubrir el terreno correspondiente a una hoja topográfica de escala 1:50.000 con fotografías de escala 1:30.000, el número de bandas oscila entre 4 y 5, que incluyan de 10 a 12 fotografías por banda, para visión estereoscópica. Para un buen recubrimiento estereoscópico, el solapamiento de dos fotos consecutivas debe ser de un 60 % del total de la fotografía, y entre dos bandas adyacentes de un 25 %.

La calidad de la fotografía tendrá una influencia decisiva en su posterior interpretación, la toma se efectúa en días de buena transparencia y luminosidad, por lo que se suele elegir la época que corresponda al final de la primavera y principio de verano, salvo en zonas donde la intensidad forestal pueda enmascarar el terreno, eligiéndose entonces el principio de primavera o final de verano, cuando el ciclo vegetativo de las plantas está en su comienzo o ha concluido.

#### - **Estudio y terminología de las fotografías verticales.**

- **Altura de vuelo:** es la altura de vuelo en el momento de la toma, referida al nivel del mar, se puede leer en el altímetro fotografiado en el margen de la fotografía.
- **Altura de vuelo sobre el terreno (Ho):** distancia existente entre el centro de la cámara y el terreno en el momento de la exposición, se halla restando la lectura del altímetro de la cota del Punto Central de la fotografía.
- **Distancia Focal (f):** es la distancia que existe entre el foco de la lente y el negativo de la película.
- **Eje óptico:** línea ideal que, pasando por el centro de la cámara, es perpendicular a la película expuesta en su punto medio.
- **Punto Central (PC):** se llama punto central a la intersección del eje óptico y la película, corresponde al centro geométrico de la fotografía.
- **Nadir (N):** es la proyección vertical del centro de la cámara sobre el terreno en el momento de la exposición. Cuando la fotografía es absolutamente vertical, el nadir coincide con el punto central, es decir, con la proyección del eje óptico.

La figura 4-6 representa la toma de una fotografía aérea, en ella los principales elementos geométricos, con cuya terminología debe estar familiarizado el fotógrafo. La distancia focal y la altura de vuelo no se han representado en la misma escala para lograr una mayor claridad del dibujo.

Al hablar de fotografías consideraremos directamente el positivo de la película, teniendo en cuenta que su situación geométrica está invertida con respecto al negativo, lo que no altera las constantes de proporcionalidad de la figura. Vamos a definir a continuación los principales términos usados en las fotografías aéreas verticales.

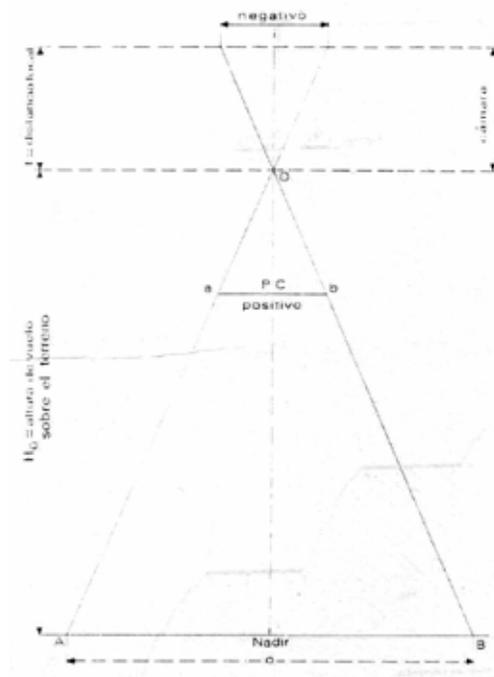


FIG. 4-6. Terminología de una fotografía vertical.

### - Escala de una fotografía

En la figura 4-6, considerando semejantes los triángulos A O B y a O b, podemos establecer la siguiente relación:

$$\frac{1}{E} = \frac{i}{o} = \frac{f}{H} = \text{escala de la fotografía} \quad \text{Ec. (4-1)}$$

Siendo  $i$  el tamaño de la imagen obtenida, y  $o$  el del objeto fotografiado.

$f$ : distancia focal

$H$ : altura de vuelo

Es decir, para hallar la escala media de una fotografía basta dividir la distancia focal por la altura de vuelo. **Por lo tanto, cuando la altura del vuelo aumenta, la escala de la fotografía disminuye, y, cuando la distancia focal aumenta, la escala de la fotografía aumenta.** La distancia focal y la altura de vuelo suelen ir relacionadas, usándose las más apropiadas para cada tipo de escala. Al hallar la escala de una fotografía tenemos que tener en cuenta tres puntos importantes:

1ro - el altímetro fotografiado al margen de la fotografía nos da la altura de vuelo sobre el nivel del mar, y como la que nos interesa es la que existe sobre el terreno habrá que restar a la lectura del altímetro la altitud media del terreno, que se puede saber de antemano o hallar en un mapa.

La fórmula 4-1 quedaría de esta forma:

$$\frac{1}{E} = \frac{f}{H - H_m} = \frac{1}{E} = \frac{f}{H_o} \quad \text{Ec. (4-2)}$$

$f$  = distancia focal de la lente

$H$  = altura de vuelo medida en el altímetro

$H_m$  = altura media del terreno

$H_o$  = altura de vuelo sobre el terreno

$1/E$  = escala de la fotografía

Prof. Julián A. Gutiérrez. E-mail: jgutie@ula.ve <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/>

2do – la distancia focal de la lente suelo venir en mm, y la lectura del altímetro en pies o en metros. Hay que tener en cuenta esta diferencia de unidades a la hora de operar, reduciendo todos los datos a la misma unidad.

3ro – estos cálculos son válidos cuando el tamaño de la fotografía empleada es el mismo que el negativo obtenido en el vuelo, como es usual. Además, la escala media de una fotografía sólo se puede usar cuando la zona sobrevolada es llana, sin cambios acusados de relieve. En el caso de tratarse de un terreno accidentado, la escala variará de un punto a otro de la fotografía al variar continuamente el factor de corrección Hm (altura media del terreno). **Así, la altura de vuelo sobre un valle será mayor que sobre una montaña, y para una misma fotografía un monte o meseta tendrá una escala superior a la de un valle o depresión.** Esta es una de las principales diferencias que existen entre las fotografías y los mapas. Para trabajar en fotogrametría habrá que hallar las distintas escalas correspondientes a las distintas elevaciones del terreno.

- **Escala de una fotografía calculada con la ayuda de un mapa.** Otra manera de hallar la escala de una fotografía es empleando el otro término de la ecuación (4-1):

$$\frac{l}{E} = \frac{i}{o}$$

Siendo  $o$  la distancia media entre dos puntos del terreno, e  $i$  su equivalente medida sobre la fotografía. En la imposibilidad de medir dicha distancia sobre el terreno podemos hallarla sobre un mapa, quedando la ecuación:

$$\frac{l}{E \text{ (foto)}} = \frac{b}{a} * \frac{l}{E \text{ (mapa)}} \quad \text{Ec. (4-3)}$$

Siendo:  $l / E \text{ (foto)} = \text{escala de la fotografía}$                        $l / E \text{ (mapa)} = \text{escala del mapa}$   
 $b = \text{distancia entre dos puntos medida en el mapa}$   
 $a = \text{distancia entre esos mismos puntos medida sobre la fotografía}$

Este método resulta mas cómodo que el anterior, siendo de hecho el mas usado.

### - **Formato y datos informativos de las fotografías aéreas.**

El formato de las fotografías aéreas es cuadrado, generalmente de 23 x 23 cm, aunque puede variar su tamaño para las distintas cámaras y escalas. En los márgenes de las fotografías aparecen unas muescas de control, puntas de flecha, cuadrados, triángulos, etc., que coinciden exactamente con el punto medio geométrico de cada lado. En uno o dos márgenes aparecen fotografiadas las distintas referencias que nos pueden servir para la identificación de la fotografía y estudio de la misma, como pueden ser:

- Número de la fotografía
- Número de rollo al que pertenece
- Fecha en la que ha sido tomada
- Reloj con indicación exacta de la hora
- Distancia focal de la lente
- Altímetro indicando la altura del avión en el momento de la exposición

La lectura podrá venir en pies o metros (pondrá feet o m, en uno u otro caso, aunque a veces se precisa la ayuda de una lupa para observarlo). Los dos primeros datos son precisos para tener una referencia exacta de cada fotografía y los cuatro últimos para su estudio.

- **Orientación.** Las fotografías aéreas se orientan según el criterio adoptado para los mapas, es decir, con el Norte situado hacia arriba. El método mas rápido y seguro para saber cual es el Norte es mirando hacia donde están proyectadas las sombras, **si se está en el hemisferio norte, desde que el sol sale hasta que se oculte la sombra de un objeto describe un semicírculo proyectado hacia el Norte**; por eso las laderas de las montañas reciben el nombre popular de “solana” o “umbría”, según estén o no orientadas al Sur. Basta entonces mirar en la fotografía cuáles son las laderas sombreadas para saber cuál es el Norte. Esta orientación es la correcta siempre que las fotografías se consulten como un mapa o se usen en visión estereoscópica.

Sin embargo, orientada de este modo, la visión individual de una fotografía ofrece el grave inconveniente de dar la sensación de que el relieve está invertido (efecto pseudoscópico). **Si se desea obtener una impresión correcta del relieve debe orientarse la fotografía de manera que las sombras estén situadas entre el observador y el objeto que las proyecta**, es decir, con el Sur hacia arriba, al contrario de lo que antes se aconsejaba. Esto se debe a una ilusión óptica ocasionada por la costumbre que tenemos de la vida real de ver las sombras proyectadas por los objetos interpuestos entre estos y nosotros, pues cuando se proyectan en sentido contrario el mismo objeto nos intercepta su visión.

### 1.3.- Importancia de los estudios fotogeológicos. Avances recientes.

En el campo geológico la utilización de fotografías aéreas ha sufrido un gran incremento, ya que además del menor coste que ofrece el estudio fotogeológico sobre el trabajo de campo se puede considerar más completo en algunos aspectos y, desde luego, siempre complementario e imprescindible. Se pueden medir sobre la fotografía columnas estratigráficas, direcciones, espesores, buzamientos, alturas, etc. Actualmente se cartografía sobre la fotografía en lugar de sobre el mapa, y el gran auge de las imágenes de satélite y de radar han impulsado el de las fotografías pancromáticas por la mayor facilidad que el fotointérprete tiene con el espectro visible, en el que necesita apoyarse para interpretar mejor las imágenes tomadas en otras bandas del espectro electromagnético.

- **El Radar.** Con respecto al **Radar**, éste es un sensor activo, se llama sensor activo porque envían oblicuamente sobre la superficie terrestre un haz de microondas (longitudes de ondas comprendido entre 1 mm y 1 m). Una vez reflejada por el terreno, las modificaciones sufridas por la onda son detectadas por una antena; un convertidor y un tubo de rayos catódicos transforman la señal recibida en puntos luminosos, que finalmente impresionan una película continua o quedan registrados en cintas magnéticas.

Existen dos tipos de radar, el **Radar de Apertura Real (RAR)** y el **Radar de Apertura Sintética (SAR)**. El primero, utilizado a bordo de un avión, se llama así porque la resolución de las imágenes depende de la longitud real de la antena acoplada lateralmente a la nave, por esta razón también recibe el nombre de radar lateral o SLAR (Side Looking Airborne Radar). En el segundo, la longitud de la antena es menor que en el RAR o SLAR, lo que se compensa proyectando un haz de microondas mas ancho, que la antena va barriendo por tramos al desplazarse con el vuelo, sintetizando una antena mayor.

**Entre las ventajas del radar están:**

- uso en zonas con barreras atmosféricas (nieblas, nubes, hielos, lluvias) y vegetales, puede atravesarlas por su gran longitud de onda.
- poner de relieve plegamientos y estructuras sedimentarias
- trabajo de reconocimiento en grandes áreas: al ser un sensor activo puede trabajar las 24 horas del día.

**Algunas características geológicas del terreno en las imágenes de radar**

El reconocimiento de diferentes litologías no es posible, en general, en las imágenes de radar, a no ser que los cambios litológicos vayan acompañados de variaciones en la rugosidad de las superficies que sean detectables. **El seguimiento del trazado de las capas es viable si va acompañado de rasgos topográficos o texturales (de rugosidad del suelo, por ejemplo);** así, en algunos casos es posible reconocer pliegues.

El interés geológico de las imágenes de radar **reside principalmente en la posibilidad de detectar lineamientos**, debido al carácter oblicuo de la iluminación y al fuerte resalte de los rasgos topográficos que se produce en estas imágenes. Para el estudio de lineamientos estructurales, es necesario que la dirección de la alineación sea perpendicular a éstos, a fin de que resalten convenientemente. Esta aplicación es especialmente útil en zonas boscosas, donde al no aparecer en la imagen los árboles individuales, por no permitirlo la resolución del sistema, resaltan mucho más los rasgos de orden inmediatamente superior, como pueden ser los topográficos con control estructural.

**- Programas espaciales y Satélites.**

A partir de 1965, la NASA (National Administration of Space and Aeronautics) lanzó los satélites Gémini y Apolo con la misión, entre otras, de fotografiar la Tierra con película en color. La Agencia Espacial Europea (ESA), integrada por Alemania Federal, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, España, Francia, Inglaterra, Irlanda, Italia, Noruega, Países Bajos, Suecia y Suiza, creó el programa Earthnet para captar información de los principales satélites puestos en órbita con estos fines, bien americanos (Landsat, Nimbus, HCMM, Seasat, NOAA, etc.) o japoneses (MOS). Además tiene su propio satélite, el ERS-1. Dado el propósito de este libro, nos limitaremos a estudiar las imágenes de satélite que tengan aplicación en los estudios fotogeológicos.

**- Satélites LANDSAT**

Serie 1: Landsat 1 (ERTS-1), 2 y 3 (Sensores MSS y RBV-cámara de vídeo)

Bandas: Verde, Rojo, Infrarrojo cercano, Infrarrojo medio, Pancromática (40 m, 99 x 99 Km)

Altura de vuelo: 920 Km

Resolución temporal: 18 días

Resolución espacial: 80 m

Cobertura x escena: 185 x 185 Km

Serie 2: Landsat 4 y 5 (Sensor TM, cartografía temática)

Bandas: Azul, Verde, Rojo, Infrarrojos cercano, medio y lejano, térmica

Altura de vuelo: 705 Km

Resolución temporal: 16 días

Resolución espacial: 30 m (120 en la térmica)

Cobertura x escena: 185 x 185 Km

Prof. Julián A. Gutiérrez. E-mail: [jgutie@ula.ve](mailto:jgutie@ula.ve) <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/>

### - Características de las bandas TM-Landsat 7

Espectro visible = entre 0,4 y 0,7 micrómetros (um), azul, verde y rojo.

Infrarrojo cercano o reflejado = entre 0,7 y 1,3 um.

Infrarrojo medio = entre 1,3 y 1,8 um.

Infrarrojo lejano o térmico = entre 8 y 14 um.

#### **Banda 1: (0.45-0.52 mm, azul)**

Provee incrementos de penetración en los cuerpos de agua, así como también soporta análisis en el uso de la tierra, suelo y características de vegetación.

#### **Banda 2: (0.52-0.60 mm, verde)**

Esta banda se extiende entre los límites azul y rojo de absorción de clorofila y por lo tanto corresponde a la reflexión verde de la vegetación viva.

#### **Banda 3: (0.63-0.69, rojo)**

Es la banda de absorción de la clorofila roja de la vegetación verde viva y representa una de las más importantes bandas para análisis de la vegetación. Es también útil para delimitar límites tanto de suelo como geológicos.

#### **Banda 4: (0.76-0.90, reflectiva-infrarrojo cercano)**

Esta banda es especialmente sensible a la cantidad de biomasa vegetativa presente en una escena, útil para la identificación de cultivos y enfatiza los contrastes suelo-cultivo y tierra-agua.

#### **Banda 5: (1.55-1.75, media infrarroja)**

Esta banda es sensible a la cantidad de agua en las plantas, es útil en estudios de cultivos de zonas secas y en investigaciones del vigor de las plantas.

#### **Banda 7: (2.08-2.35, media infrarroja)**

Útil para la discriminación de formaciones geológicas, particularmente importante en la identificación de las zonas de alteración hidrotermal en las rocas.

#### **Banda 6: (10.4-12.5, termal-infrarroja)**

Mide la cantidad de energía infrarroja radiante emitida de las superficies, la temperatura aparente es función de las emisiones y de la temperatura real o cinética de la superficie. Útil en estudios de actividades geotermales, mapeo de la inercia termal para las clasificaciones geológicas y clasificación de la vegetación, análisis de tensión de vegetación y estudios de humedad del suelo.

### - Satélite SPOT (c/ visión estereoscópica)

Bandas: Verde, Rojo, Infrarrojo cercano, térmica (120 m)

Altura de vuelo: 832 Km

Resolución temporal: 26 días

Resolución espacial: 20 m en la multispectral, 10 m en la pancromática

Cobertura x escena: 60 x 60 Km

#### 1.4.- Medidas Fotogramétricas. Paralaje

- **Paralaje:** Estereoscópicamente, el desplazamiento de imágenes está expresado por el Paralaje, se define como el desplazamiento aparente de las imágenes, debido a un cambio en la posición del punto de toma o de observación. En términos fotogramétricos la paralaje estereoscópica está representada por la diferencia algebraica medida paralelamente a la línea de vuelo, entre las distancias de los puntos conjugados a sus puntos principales respectivos.

- **Paralaje:** es el desplazamiento aparente en la posición de un objeto debido al cambio de punto de observación. Si colocamos un objeto cualquiera (por ejemplo un lápiz) a la altura del pecho, vertical y con la punta hacia arriba, y cerrando alternativamente un ojo y otro, veremos que la punta del lápiz se desplaza hacia el ojo que tenemos cerrado. Si pudiésemos hacer dos fotografías poniendo la cámara primero en un ojo y luego en el otro, la imagen del lápiz quedaría como en la figura 5-16 (p. 66 de López, 1988)

En las fotos aéreas ocurre lo mismo, la figura 5-17 (las figuras son tomadas de López, 1988) nos muestra un objeto de altura  $h$  fotografiado desde dos puntos distintos, A y B.

Según vimos al hablar del desplazamiento radial del relieve (p. 51), al tomar la fotografía desde B, la punta de la flecha (M) se nos proyectaría en  $M'$ , es decir, el desplazamiento sería  $OM'$ , que en la foto correspondiente de la derecha equivaldría a  $d_2$ . Al tomar la fotografía desde A, M se nos proyectaría en  $M''$ , y el desplazamiento  $OM''$ , en la fotografía correspondiente de la izquierda, se traduciría en  $d_1$ .

Se llama **paralaje absoluto** de un punto en un par estereoscópico de fotografías **a la suma algebraica de la distancia entre la imagen de dicho punto en cada fotografía y los puntos centrales de cada una**. Esta distancia debe ser medida paralela a la línea de vuelo.

La figura 5-18 nos muestra, abatidas sobre un plano, las dos fotografías representadas en el esquema de la figura 5-17 (las figuras son tomadas de López, 1988).

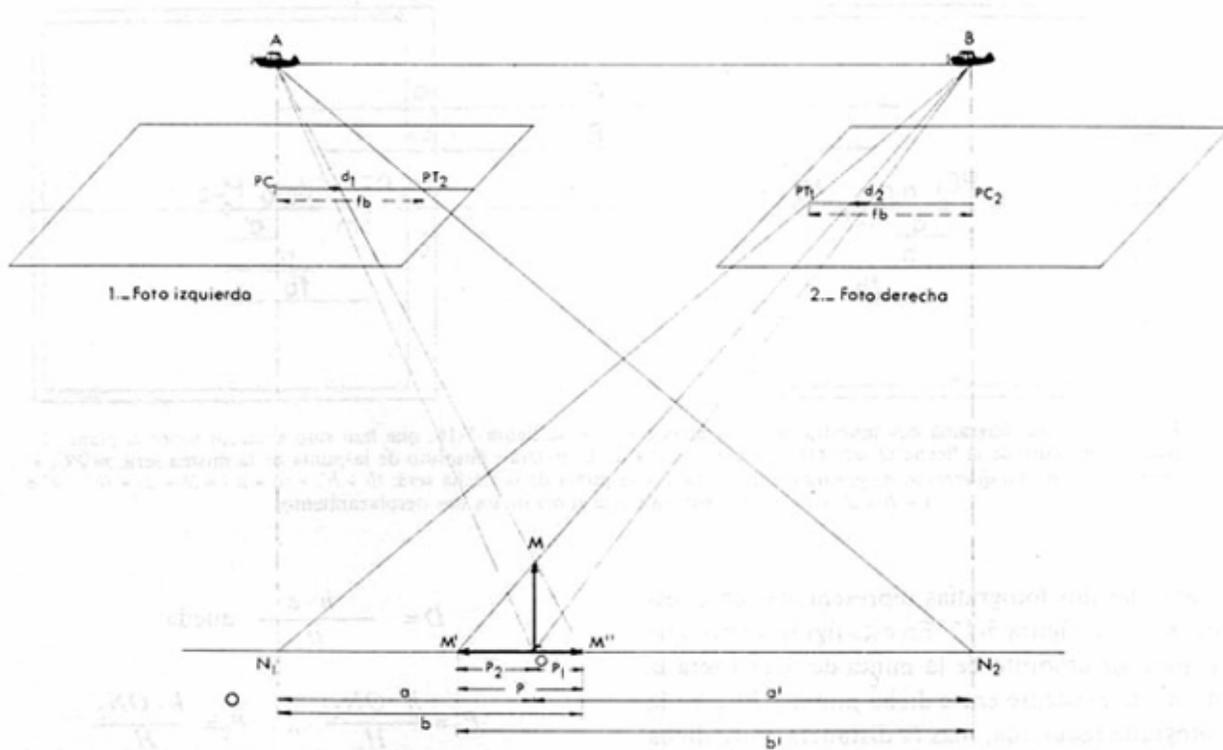


FIG. 5-17. El esquema muestra la toma de un objeto  $OM$  desde dos puntos distintos,  $A$  y  $B$ . Desde el punto  $A$ , la punta de la flecha se proyectará en  $M''$ , y el desplazamiento  $OM''$  será el equivalente en la fotografía izquierda a  $d_1$ . Igualmente, el desplazamiento  $OM'$ , proyección de la flecha  $OM$  desde el punto  $B$ , queda representado en la fotografía derecha por  $d_2$ . El paralaje absoluto del punto  $M$ , punta de la flecha, será:  $N_1M'' + N_2M'$ . El paralaje del punto  $O$ , base de la flecha:  $N_1O + N_2O$ . La diferencia de paralaje entre el punto  $M$  y el  $O$  será:  $(N_1M'' + M'N_2) - (N_1O + ON_2) = (N_1M'' - N_1O) + (M'N_2 + ON_2) = P_1 + P_2 = P$ .

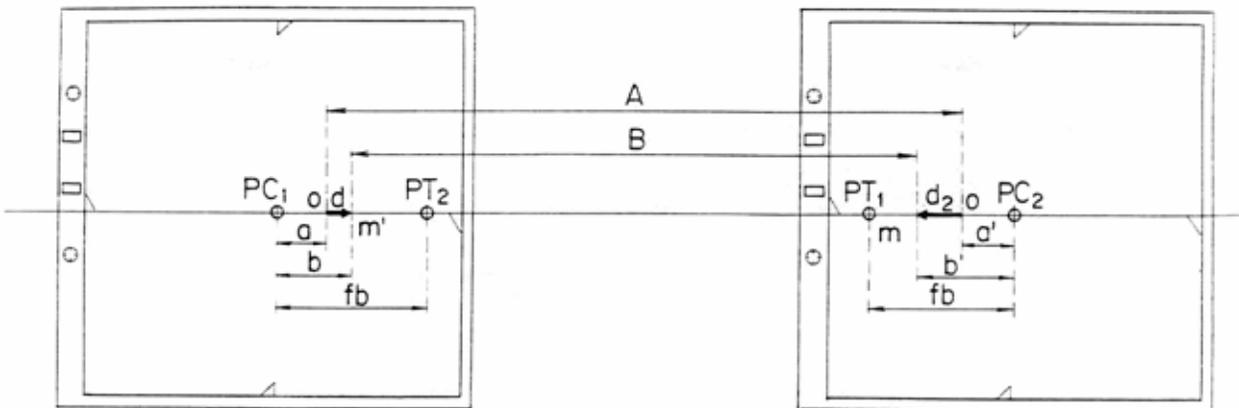


FIG. 5-18. Este diagrama nos muestra las fotografías 1 y 2 de la figura 5-16, que han sido abatidos sobre el plano. El paralaje absoluto de la flecha  $O$  será  $OPC_1 + OPC_2 = a + a'$ . El paralaje absoluto de la punta de la misma será:  $m'PC_1 + mPC_2 = b + b'$ . La diferencia de paralaje entre la base y la punta de la flecha será:  $(b + b') - (a + a') = (b - a) + (b' - a') = A - B = d_1 + d_2$ , lo que equivale a la suma de los dos desplazamientos.

En esta figura vemos que el paralaje absoluto de la punta de flecha será la distancia existente entre dicha punta y PC1, en la fotografía izquierda, mas la distancia entre dicha punta y PC2, en la fotografía derecha.

$$\text{Paralaje absoluto del punto } m = m'PC1 + m''PC2 = b + b'$$

El paralaje absoluto de la base de la flecha será:

$$o = oPC1 + oPC2 = a + a'$$

Téngase en cuenta que, en este caso, coincide la proyección de la flecha con la línea de vuelo. En el caso de no ser coincidente, como ocurre en la figura 6-3 (p. 75), tendremos que tomar las distancias a y b paralelas a dicha línea.

**El paralaje absoluto** de un punto es mayor cuanto mayor sea su altura sobre el nivel de referencia. Diferencia de paralaje entre dos puntos es la diferencia algebraica que existe entre sus paralajes absolutos.

En este caso, la diferencia de paralaje entre la punta y la base de la flecha es:

$$\text{Diferencia de paralaje entre } o \text{ y } m = (b + b) - (a + a) = d1 + d2 = A - B$$

Volviendo a la figura 5-17, vemos que ON1 y ON2 son las distancias respectivas del objeto al Nadir de cada fotografía.

Sustituyendo en la fórmula del desplazamiento (4-7) que, como recordamos era:

$$D = \frac{h * d}{Ho} \quad \text{queda:}$$

$$P1 = \frac{h * ON1}{Ho} \quad P2 = \frac{h * ON2}{Ho}$$

$$P1 + P2 = \frac{h * ON1 + h * ON2}{Ho} = \frac{h (ON1 + ON2)}{Ho}$$

Tengamos en cuenta que (ON1 + ON2) es la distancia que hay entre dos tomas del avión (aerobase) y su equivalencia en la fotografía es la fotobase; sustituyendo P1 y P2 por sus equivalentes fotográficos, d1 y d2:

$$Dp = d1 + d2 = \frac{h * fb}{Ho}$$

$$Dp = \frac{h * fb}{Ho} \quad (5-1)$$

Siendo: Dp = diferencia de paralaje    h = altura del objeto  
fb = fotobase    Ho = altura de vuelo sobre el terreno

Si la altura del objeto es considerable frente a la altura de vuelo, tendremos que aplicar la fórmula (4-5) o (4-6), según consideremos el nivel de referencia situado al nivel del punto mas bajo o del mas alto. En este caso, la fórmula resultante será:

$$Dp = \frac{h * fb}{Ho - h} \quad (5-2)$$

Situando el nivel de referencia en la base del objeto, o bien:

$$Dp = \frac{h * fb}{Ho + h} \quad (5-3)$$

Cuando lo consideramos en la cima

## Tema 2: ANÁLISIS FOTOGEOLOÓGICO DEL RELIEVE

- **Estudio bibliográfico.** Como todo geólogo, el fotogeólogo debe consultar la bibliografía de la zona de estudio, a fin de realizar un trabajo lo mas completo posible. Las consultas bibliográficas deben hacerse con criterio, es decir, nunca deben deshacerse a la ligera los propios resultados porque no coincidan con los del mapa o trabajo consultado. Ocurre con frecuencia que formaciones marcadas por nosotros en las fotografías aéreas no aparecen en otros trabajos sobre las zonas ya publicados, y aunque el fotogeólogo posea gran experiencia y seguridad siempre tiende a pensar si se habrá equivocado en su apreciación. Si al estudiar un terreno el fotogeólogo encuentra algo que llama claramente su atención debe estar seguro de que ese algo existe, esté reflejado o no en otros mapas.

Un sistema para perfeccionar la habilidad interpretativa, es **comparar los mapas geológicos de buena calidad con las fotografías aéreas pertinentes**. El trabajo con las fotografías debe hacerse estereoscópicamente, con gran atención y en todo momento la posición del modelo estereoscópico debe relacionarse a la del mapa.

### - Rutina fotogeológica (Según López, 1988)

La manera correcta de comenzar un trabajo fotogeológico consiste en la anotación cuidadosa y constante de todos los datos que puedan ser necesarios para una posterior interpretación geológica. Analizaremos a continuación los diversos pasos a seguir para la construcción de un mapa fotogeológico.

**1ro.- Anotación de obras humanas.** Una vez preparado y montado sobre las fotografías el papel de calco con sus diversas rotulaciones previamente hechas (Punto Central y Transferidos, número de fotografía, hoja la que pertenece, etc.) se calcan con un lápiz rojo, bien afilado, las obras humanas mas destacables de la fotografía, carreteras, ferrocarriles, pueblos, minas, etc. Es conveniente tener a mano un mapa topográfico de la zona para la localización y rotulación de caminos, canales, nombres de pueblos, etc. Aconsejamos que junto a los pueblos se rotule su nombre para la posterior identificación de la zona. En la leyenda existente al principio del libro vienen anotados los símbolos de uso mas frecuente.

Daremos aquí una ligera orientación, para el principiante en geología, sobre la identificación de vías de comunicación, dado que a veces es fácil confundir carreteras con vías de ferrocarril, sin embargo, son fácilmente diferenciables; éstas últimas presentan un trazado recto, con curvas de gran radio y pendientes suaves, a diferencia de las carreteras, que, debido a la mayor movilidad de los vehículos que las usan, pueden adaptarse mejor a la topografía de la zona, presentando curvas muy cerradas y fuertes pendientes.

**2do.- Hidrografía.** Una vez calcado sobre el papel todo lo referente a obras humanas se pasa a anotar la red hidrográfica. Esta anotación puede presentarse bajo dos aspectos:

a) *Servir de guía para el paso del trabajo fotogeológico al mapa.* En este caso se calcan con lápiz azul los cauces de los ríos y arroyos mas importantes, sin necesidad de anotar los arroyos de tercer y cuarto orden ni los distintos tipos de corrientes (esporádica, perenne, brazos muertos de un río, brazos de crecida, lecho de inundación, etc.). Si se necesita confeccionar un mapa planimétrico final, la precisión y abundancia de anotaciones irán de acuerdo con la cantidad de datos que se desee obtener.

Prof. Julián A. Gutiérrez. E-mail: [jgutie@ula.ve](mailto:jgutie@ula.ve) <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/>

b) *La red hidrográfica tiene valor en sí.* Por ejemplo, para la separación litológica de distintos materiales, estudios de pantanos, canales, trasvase de aguas, etc., deben aprovecharse las enormes ventajas ofrecidas por las fotografías aéreas y anotar con la mayor exactitud y precisión todos los detalles hidrográficos que ésta pueda ofrecernos, en la mayoría de los casos superior a los obtenidos en el campo.

**3ro. Geomorfología.** El análisis geomorfológico que se puede realizar sobre las fotografías aéreas es muy importante, aunque no exhaustivo, teniendo que recurrir al trabajo de campo para poder completarlo, sin embargo, su uso no sólo reduce considerablemente este último, sino que puede aportar una serie de datos que de otra manera pasarían inadvertidos. Dado que una de las bases principales de la interpretación fotogeológica es el análisis geomorfológico, el fotogeólogo debe estar ampliamente formado en este tema por ser uno de los que más directamente pueden influir en su trabajo. Se hace un análisis de la morfología originada por los distintos procesos erosivos, tipos de rocas, fracturaciones, plegamientos, etc.,

**4to. Estudio geológico.** Terminados los dos estudios anteriormente citados se pasa al geológico, propiamente dicho. Igual que los pasos anteriores debe ser definitivo, es decir, una vez terminado el estudio del drenaje no debe ser necesario volver sobre la fotografía para rectificar ni añadir ningún dato. En el estudio geológico se debe obrar con una metodología distinta, dando sucesivas pasadas al trabajo hasta completarlo definitivamente.

La primera pasada o estudio preliminar ofrece una visión de conjunto de la zona y el fotointérprete debe limitarse a anotar sólo los rasgos más seguros e importantes de ella, este trabajo deberá realizarse de una manera metódica y exhaustiva, **anotando todo tipo de capas, afloramientos, fracturas, fallas y demás rasgos geológicos claramente visibles en la fotografía.** No es conveniente realizar la interpretación fotogeológica en esta primera pasada; así, los contactos entre dos formaciones sólo deben marcarse si son absolutamente seguros.

Si no se está seguro de la exactitud de un **contacto**, pero es conveniente su anotación para localizarlo en las fotografías colindantes, se puede dibujar con una línea de puntos, rectificable a trazo continuo cuando la seguridad del contacto se haga más patente. Tanto en un caso como en otro, a ambos lados de la línea de contacto se anota otra a lápiz, del color correspondiente a la formación. Si no se está seguro de la identidad litológica se espera a una segunda vuelta antes de marcar con color, la precisión de dibujo así obtenida es superior a la lograda usando el lápiz exclusivamente.

Para los distintos tipos de formaciones se usan lápices de distintos colores, siempre perfectamente afilados, para no empastar el dibujo. La tabla geológica internacional de colores debe emplearse en el mapa final, pero no durante el trabajo fotogeológico, donde es conveniente destacar las formaciones importantes con colores bien visibles, así como las capas guías, etc. Si no se dispone de colores suficientes para el número de distintas formaciones se pueden trazar rayas horizontales, verticales, cruces, etc., procurando no empañar la claridad del dibujo. Los afloramientos, buzamientos, direcciones de esquistosidad y en general todos los rasgos propios de una roca se anotan en el color que previamente se les haya signado, y en negro las fallas fracturas, ejes de pliegues y demás rasgos estructurales que puedan afectar a una zona externa y no a una roca en particular.

Una vez terminada la primera pasada se da una o dos más (suelen ser necesarias), en las que se afirman o rectifican las anotaciones anteriores, se terminan de identificar las litologías, marcar las fallas y

Prof. Julián A. Gutiérrez. E-mail: [jgutie@ula.ve](mailto:jgutie@ula.ve) <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/>

contactos, etc. Según sea la naturaleza del estudio y el fin al que vaya encaminado se completa mas en un sentido que en otro, por ejemplo, en un trazado de carreteras interesará marcar la zona de desplomes, avalanchas, peligro de coladas fangosas, etc.

Si no es fácil encontrar el límite entre una formación y otra, como muchas veces ocurre, se pone el símbolo de “contacto no localizado” (ver leyenda al principio del libro) y se cierra el trabajo sin intentar forzar un contacto que, de hecho, no se ha podido ver. Y, por último, no se debe olvidar que una leyenda fotogeológica nunca será como una leyenda efectuada en el campo, si el fotogeólogo no ha podido identificar la litología de una formación, no debe comprometerse dándole alguna, sino dejarla tranquilamente anotada como “Formación A” y explicar sus características en la memoria que acompaña al trabajo.

#### - Estudio del Tono y Vegetación en las fotografías aéreas.

#### - Tonalidad y Textura.

El tono en las fotografías **se refiere a la intensidad relativa de luz reflejada por el terreno y registrada en la película**. En cambio, la textura **representa la frecuencia de cambio de tonalidad en la foto**. Aunque la tonalidad es un valor relativo, juega un papel de suma importancia en la identificación de rocas. Es preciso destacar que la evaluación de la tonalidad consiste en comparar el tono de varias imágenes sobre fotos. El tono en las fotos en blanco y negro está dado por tonalidades de gris que van desde blanco o gris claro hasta gris oscuro o negro. En muchos casos, la tonalidad, considerada en conjunto con otras características de la roca, como el drenaje, por ejemplo, puede ser diagnóstico para identificar la litología y rasgos estructurales de una región

**En cuanto a la tonalidad típica de rocas, pueden hacerse las siguientes generalizaciones:**

- De tono blanco a gris claro: nieve, agua reflejando luz, nubes, olas, evaporitas, caliche, barreal, **ciertas arenas y gravas, dunas, ciertas tobas, algunos rasgos de alteración hidrotermal (talco, amianto), corales, cuerpos cuarzo-feldespaticos, diques ácidos, pegmatitas, ciertas cuarcitas y calizas.**

- De tono gris mediano: **yeso, rocas calcáreas y dolomíticas, areniscas claras, arcillitas, lutitas, limolitas, margas, intrusivas y efusivas leucocráticas y básicas.**

- De tono gris oscuro a negro: sombra de lagos y cursos de agua, césped, **carbón, areniscas y lutitas rojas, grauvacas oscuras, areniscas con contenido orgánico, rocas intrusivas, efusivas, básicas y ultrabásicas.**

Dejando a un lado los efectos que la bruma, el filtro, y el revelado producen sobre la tonalidad, **el tono está determinado en muchos casos por el contenido de agua, humedad y permeabilidad de la roca, y consecuentemente, por la vegetación**. La selección del filtro puede en algunos casos separar efectivamente dos rocas de diferente litología, aunque aparentemente similares en fotos tomadas sin filtro.

La distribución areal de varios tonos de gris define la textura de la foto (Lámina IX). Dependiendo de los elementos que causan el cambio de tono, **la textura** puede tener un aspecto grueso, fino, uniforme, Prof. Julián A. Gutiérrez. E-mail: [jgutie@ula.ve](mailto:jgutie@ula.ve) <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/>

liso, lineado, moteado o bandeado. Así, la “**textura geomorfológica**” se refiere al grado de disección del relieve, a la densidad del drenaje y a la frecuencia de los cursos de agua en un área determinada. En cuanto a la “**textura litológica**”, el cambio de tono se debe a una distinta composición mineralógica o a meteorización, rasgos acentuados por un notable bandado, particularmente evidente en ambientes áridos. La “**textura de erosión**” se refiere al aspecto fino o grueso de la roca; son de tono relativamente mas claro y “textura de erosión” uniforme y fina las rocas con superficies lisas, como por ejemplo, lutitas; por otra parte, rocas fracturadas, como suelen ser las rocas graníticas, o material de grano grueso, como conglomerados, presentan una “textura de erosión” gruesa y generalmente poco uniforme.

También son de tono relativamente mas claro rocas desteñidas o decoloradas, áreas cubiertas por vegetación caduca y, en general, zonas situadas en clima árido. Además, en ambientes húmedos, las pendientes expuestas al sol pueden soportar una vegetación mas densa y resultar con un tono mas oscuro que en ambientes áridos, donde las partes expuestas al sol son secas y, en consecuencia, se caracterizan por un tono mucho mas claro.

Una textura “moteada” es, en muchos casos, indicadora de diferencias en humedad, porosidad y contenido orgánico de la roca. Por ejemplo, **materiales arenosos y permeables sobre terrenos elevados, son de tono mas claro que arcillas y limos en depresiones y valles**. “Texturas moteadas” se encuentran también en terrenos de rocas calcáreas (manchas de tono mas oscuro se deben a una concentración de arcillas residuales coloradas en sumideros); en rocas volcánicas (manchas claras debido a escape y decoloración por efecto de gases); en llanuras glaciofluviales y till glaciario, y en zonas con rocas bituminosas (manchas oscuras se deben al contenido orgánico). **En general, las depresiones resultan mas oscuras por la concentración de humedad** (Láminas VI, XII, XV, XX).

#### - **Importancia de la fotointerpretación del relieve, definiciones.**

#### - **Análisis geomorfológico**

El análisis geomorfológico que se puede realizar sobre las fotografías aéreas **es muy importante**, aunque no exhaustivo, teniendo que recurrir al trabajo de campo para poder completarlo, sin embargo, su uso no sólo reduce considerablemente este último, sino que puede aportar una serie de datos que de otra manera pasarían inadvertidos. Dado que **una de las bases principales de la interpretación fotogeológica es el análisis geomorfológico**, el fotogeólogo debe estar ampliamente formado en este tema por ser uno de los que mas directamente pueden influir en su trabajo. Se hace un análisis de la morfología originada por los distintos procesos erosivos, tipos de rocas, fracturaciones, plegamientos, etc., pero por limitaciones de espacio y objeto de esta obra impiden mayor dedicación, por lo que se recomienda a los fotogeólogos y estudiantes de fotogeología se formen ampliamente con libros especializados. En este capítulo nos limitaremos a hacer un breve análisis de dos características geomorfológicas principales: **topografía y drenaje**.

#### - **Elementos básicos para su reconocimiento e interpretación**

- **Topografía.** El primer contacto del fotogeólogo con una zona es a través de la **expresión topográfica**, y son las formas del relieve su guía principal para cualquier tipo de estudio, sea litológico, estratigráfico o estructural. La gran extensión de terreno abarcada en las fotografías permite **una visión de conjunto** imposible de obtener en el campo, visión que además ofrece la ventaja de acentuar las

Prof. Julián A. Gutiérrez. E-mail: [jgutie@ula.ve](mailto:jgutie@ula.ve) <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/>

diferencias de relieve debido a la exageración vertical que ofrece la visión estereoscópica. Esta expresión topográfica vendrá determinada por varios aspectos: **naturaleza de la roca y estructuras geológicas.**

**a) Naturaleza de la roca.** Su composición, cohesión, tamaño de grano, estructura interna, etc., determinarán su resistencia a la erosión y, por tanto, su influencia en el moldeado del terreno. Cuando se dice que una roca es resistente o débil debe entenderse que lo es al conjunto de agentes erosivos que actúan sobre ella (una roca puede ser muy dura en el sentido físico y comportarse débilmente frente a la acción de los agentes químicos), pero dada la mayor importancia erosiva de los agentes puramente mecánicos frente a los químicos las rocas duras o compactas (cuarcitas, granito) ofrecen una resistencia a la erosión superior a las blandas y deleznable. De este modo se va moldeando el terreno, y **los materiales mas consistentes dan un relieve superior a los blandos, lo que recibe el nombre de relieve diferencial**, siendo frecuente que el cambio de unidades litológicas venga indicado por un escarpe.

**b) Estructuras geológicas.** En fotogeología, cuando se habla del término “estructura”, tanto la propia de la roca (**planos de estratificación, esquistosidad, diaclasas, etc.**) como las deformaciones sufridas por ella a lo largo de los tiempos geológicos (**plegamientos, fracturas, fallas, etc.**), cuyas diferencias se encargará de acentuar la acción continuada de la erosión. Así, en un terreno fracturado, el agua correrá principalmente a favor de las fracturas (como se ha indicado en el tema anterior), filtrándose a favor de ellas y acentuando, al cabo del tiempo, los rasgos tectónicos de la zona.

En las zonas plegadas, la topografía es una ayuda valiosísima para seguir las estructuras y ver la dirección y buzamiento de las capas. **La erosión diferencial acentuará la diferencia existente entre los diversos estratos**, erosionando más fácilmente los menos resistentes y facilitando la identificación de capas guía, diferencias litológicas, etc.

**La clara visión de los buzamientos obtenida en las fotografías aéreas permite, generalmente, trazar los ejes anticlinales y sinclinales y los diversos tipos de pliegues que forman.** Cuando esta apreciación no es tan fácil es conveniente tener una serie de ideas claras sobre la interrelación de la estructura y la topografía. Unos pocos **criterios generales** sobre el caso bastarán para ello, pero teniendo en cuenta que éstos, a pesar de su generalidad, no son aplicables en todos los casos.

**1ro.- Los anticlinales pueden aparecer erosionados o no**, dando lugar a distintas formas topográficas (cuadro 11-1, los cuadros son de López, 1988)

**2do. En los sinclinales también puede darse la inversión del relieve**, originando montes alargados de vertientes abruptas. Su parte superior puede ser plana o ligeramente deprimida. Sus principales características son:

- La charnela suele coincidir con una zona deprimida por la que corre el valle principal. Suele ser de mayor extensión que en los anticlinales
- Si la serie plegada está formada por estratos de diferente resistencia a la erosión, da lugar a una serie de sierras alargadas cuya vertiente mas suave mira hacia el eje del sinclinal (principal diferencia con respecto a los anticlinales).

**3ro. Terminaciones periclinales.** Si los buzamientos aparecen claros en la fotografía, no hay duda respecto a si corresponden a un sinclinal o anticlinal. En caso contrario se puede deducir del siguiente modo:

- será un anticlinal si la vertiente mas abrupta del afloramiento mira hacia el interior de la curva, es decir, hacia el lado cóncavo (foto 11-7, las fotos son de López, 1988)
- un sinclinal, si mira hacia la parte convexa (foto 11-7)

**4to. Sinclinales y anticlinales con ángulo de inmersión.** Si tenemos una serie de sierras convergentes en las que no se aprecia claramente el buzamiento, hay que tener en cuenta que:

- si la vertiente mas abrupta de las sierras está situada hacia dentro de la formación, ésta corresponderá a un anticlinal buzante hacia el sentido de la convergencia (foto 11-7)
- si la vertiente mas abrupta mira hacia el exterior, el pliegue será un sinclinal que buza en el sentido contrario al de convergencia.

**5to. Domos y cubetas.** Su topografía será semejante a la de los anticlinales y sinclinales de doble terminación periclinal, pero en planta anular. Hay que tener en cuenta que al ir avanzando el grado de erosión de la estructura, la exposición de las rocas del núcleo y su tipo de litología puede dar lugar a una inversión del relieve, como en los casos indicados en el cuadro 11-2.

- **Drenaje.** Después de la tonalidad y la textura, el reconocimiento del tipo de drenaje es el elemento de mayor importancia en la interpretación fotogeológica, ya que el drenaje depende, esencialmente, de las características litológicas, estructurales y climáticas de la zona. En la interpretación fotogeológica es aconsejable: **1) analizar el drenaje desde características litológicas, estructurales y frecuencia de los cursos de agua, o textura del drenaje; 2) el diseño de la red de drenaje, y 3) el perfil transversal de los cursos de agua, particularmente las cárcavas.**

La densidad del drenaje puede expresarse como denso, mediano o espaciado. **Rocas impermeables de grano fino, como lutitas y margas, muestran generalmente un drenaje denso** (lámina IV, las láminas son de Römer, 1969); **rocas permeables de grano grueso, como areniscas y rocas ígneas, tiene generalmente un drenaje mas espaciado** (lámina II, III; VIII; XXVIII).

El diseño de la red de drenaje, como por ejemplo, el diseño radial, emparado, angular, y dendrítico, refleja por lo general, la litología y la estructura de la roca (láminas XXI, XXVII). Sin embargo, un diseño dendrítico puede encontrarse tanto en rocas consolidadas como en inconsolidadas, en rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas, en terrenos de estructura simple o compleja. **El requisito esencial para un desarrollo del diseño dendrítico es la homogeneidad de la textura de la roca y una resistencia uniforme a la erosión** (lámina IX).

Se puede generalizar pues, que el tipo de drenaje está relacionado principalmente a la resistencia de la roca a la erosión y a su permeabilidad. Así, **puede expresarse que la densidad de drenaje es inversamente proporcional a la resistencia a la erosión y permeabilidad de las rocas.** Por ejemplo, en un ambiente dado, las lutitas son poco permeables, menos resistentes y muestran una textura de drenaje fina. Por otro lado, areniscas de grano grueso son mas permeables y mas resistentes, y consecuentemente, están caracterizadas por una densidad de drenaje espaciada.

En cuanto a los **perfiles transversales de cárcavas**, se ha demostrado que también pueden facilitar la interpretación litológica. Se considera que la profundidad y perfiles de cárcavas tiene importancia para Prof. Julián A. Gutiérrez. E-mail: [jgutie@ula.ve](mailto:jgutie@ula.ve) <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/>

la definición de la roca, aunque debe recordarse que estas características dependen mayormente del estadio alcanzado en el ciclo geomorfológico y del clima. **En materiales de poca cohesión y gran porosidad, como arenas**, las cárcavas son cortas, rectas y estrechas, de poca profundidad y en forma de V, con paredes verticales en la parte superior y una ramificación espaciada. **En materiales de mayor cohesión como lutitas, arcillas, margas, etc.**, la ramificación es compleja, son mas largas, anchas y profundas, con fondo llano y paredes suaves (Lámina XV). Por supuesto, materiales de cohesión y porosidad intermedia, como lutitas arenosas, flysch, etc., presentan todo tipo de transiciones.

Se debe tener siempre presente que los rasgos antedichos, como la tonalidad, textura, red y perfiles de drenaje son valores relativos, que contribuyen indirectamente a la identificación litológica y estructural del área observada.

Existen varios tipos de controles que pueden influir sobre la disposición de la red, que se pueden reducir a tres principales:

- Control litológico
- Control topográfico (ríos consecuentes)
- Control estructural

**- Control litológico.**

Cada tipo de roca dará lugar a una serie de modificaciones en la forma del drenaje, principalmente en la:

**a) Forma de los arroyos.** La forma de los arroyos, tanto en planta como en perfil, dependerá de una serie de características de la roca, como son la distribución isótropa o anisótropa de los minerales dentro de la misma, cohesión, permeabilidad, etc. Así, las rocas plutónicas dan lugar a una terminación típica de los arroyos en forma de pinza, las arcillas presentan un perfil en forma de V, etc. (foto 28-2)

**b) Densidad del drenaje.** O espaciado existente entre los arroyos, es uno de los elementos de juicio mas claros que tenemos sobre una serie de propiedades de la roca, como pueden ser la erosión, permeabilidad, clima, etc. Así tenemos que:

- a mayor dureza y resistencia, menor densidad
- cuando mas finos sean los materiales que la integran, mas tupida y mas ramificada se hace la red
- en climas áridos la densidad del drenaje es mayor que en climas húmedos, aunque los ríos principales estén mas separados de lo que pueden estar en éstos.

**c) Uniformidad.** La uniformidad del drenaje es un dato indicativo de la homogeneidad de los materiales por los que corre. Esta homogeneidad se refiere tanto a la litología de la zona como a su estructura (plegamientos, fallas, etc.). **Así los granitos, gneises, pizarras, etc., nos darán un drenaje uniforme, mientras que en una serie sedimentaria plegada dicha uniformidad habrá desaparecido**, al estar condicionada la red por las estructuras, corriendo principalmente por los materiales mas blandos (**drenaje subsecuente**)

- **Control estructural.** El control estructural al que puede estar sometida una red hidrográfica puede ser de dos tipos:

- Por plegamiento
- Por fracturación

**a) Control estructural por plegamiento.** Cuando los materiales están plegados, la red hidrográfica suele adaptarse a las principales estructuras. Los ríos adaptados a las estructuras suelen estarlo igualmente a la litología, dando origen a valles longitudinales que, según las estructuras por las que transcurran, pueden ser de tres tipos:

- Valles anticlinales: cuando coinciden con los ejes anticlinales erosionados, suelen ser valles primarios
- Valles sinclinales: cuando se han desarrollado sobre el eje de un sinclinal, suelen ser mas amplios que los anteriores.
- Valles homoclinales: si corren por las rocas blandas, situadas en los flancos de los pliegues, generalmente son valles secundarios.

Según la forma que adopten, las redes de drenaje recibirán distintos nombres:

- Red dendrítica
- Red paralela
- Red subparalela
- Red radial centrífuga
- Red radial centrípeta
- Red anastomosada
- Red meandriforme
- Red abanico
- Red anular centrífuga
- Red anular centrípeta

Todos los sistemas de drenaje están compuestos por una red interconectada de corrientes que, juntas, forman modelos concretos. La naturaleza de un modelo de drenaje puede variar mucho de un tipo de terreno a otro, fundamentalmente en respuesta a los tipos de rocas los cuales se desarrolla la corriente o al modelo estructural de fallas y pliegues.

El modelo de drenaje encontrado con mas frecuencia es el modelo **dendrítico**. Este modelo se caracteriza por una ramificación irregular de las corrientes tributarias que recuerda al modelo ramificado de un árbol caducifolio. De hecho, la palabra dendrítico significa “semejante a árbol”. El modelo dendrítico se forma donde el sustrato de la roca subyacente es relativamente uniforme, como en estratos sedimentarios planos o rocas ígneas masivas. Dado que el material subyacente es esencialmente uniforme en su resistencia a la erosión, no controla el flujo de la corriente. En cambio, el modelo viene determinado fundamentalmente por la dirección de la pendiente del terreno.

Cuando las corrientes divergen desde un área central como los radios de una rueda, se dice que el modelo es **radial**. Este modelo se desarrolla normalmente en zonas volcánicas aisladas y en elevaciones de tipo domo.

El modelo **rectangular** se caracteriza por poseer muchos recodos en ángulo recto. Este modelo se desarrolla cuando el sustrato rocoso está entrecruzado por una serie de fallas y diaclasas. Dado que esas estructuras son erosionadas con mas facilidad que la roca no fracturada, su modelo geométrico orienta la dirección de las corrientes a medida que excavan sus valles.

El modelo de drenaje de red enrejada es un modelo rectangular en el cual los afluentes son casi paralelos entre sí y tiene el aspecto de un jardín enrejado. Este modelo se forma en áreas donde subyacen bandas alternativas de rocas resistentes y menos resistentes, y está particularmente bien desarrollado en los Apalaches plegados americanos, donde estratos débiles y fuertes afloran en cinturones casi paralelos.

**b) Control estructural por fracturación.** En un terreno fracturado los ríos y arroyos tienden a correr por las fallas y fracturas, por ser líneas de menor resistencia. Como final diremos que la red hidrográfica suele ser de tipo mixto, adaptándose en cada tramo al tipo de material por el que corre.

- **Clima y vegetación.** El ambiente climático se manifiesta en las fotografías aéreas principalmente por la presencia o ausencia de vegetación. Además, la presencia de vegetación está controlada por la litología y tipos de suelos por un lado, y por rasgos estructurales y topográficos por el otro. En muchos casos, la presencia de varios tonos de gris en fotos aéreas se refiere a distintos tipos y concentración de vegetación; eso sirve para delinear diferentes zonas de vegetación que reflejan una diferente composición química del terreno. Áreas tóxicas (aguas saladas, emanaciones de gas) y su control sobre la vegetación han sido utilizadas para localizar depósitos minerales.

### - Tema 3: ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO DE LAS ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.

3.1- Definiciones básicas. Importancia.

3.2.- Reconocimiento e interpretación de las expresiones morfológicas estructurales: Fallas, Alineamientos geológicos, Pliegues, Geosinclinales, etc.

#### 3.1.- Definiciones básicas. Importancia.

**Rasgos estructurales.** Observando fotos aéreas es posible apreciar, quizás en mayor grado que en el terreno, **la estrecha relación que existe entre el tipo de roca y la estructura**. Los rasgos estructurales derivado del estudio de fotos aéreas, no solamente son decisivos para identificar el tipo de roca, sino también para evaluar las relaciones espaciales de las unidades litológicas, y desarrollar la secuencia histórica y coherente de procesos geológicos. Además, la evaluación de rasgos estructurales por medio de fotos aéreas puede conducir a la localización de depósitos minerales. **En la identificación de estructuras, la erosión diferencial de las rocas juega un papel primordial.**

De todos los estudios abordados en fotogeología es en el **análisis estructural** de un terreno donde esta técnica alcanza su máxima utilización. Ello es debido a:

- La gran corrida alcanzada por las estructuras geológicas, en muchos casos de decenas y hasta centenares de kilómetros, exigen para su estudio una escala macroscópica como la ofrecida por las fotos aéreas y las imágenes obtenidas por satélite. Es, por tanto, en el análisis estructural de un terreno donde el fotogeólogo corre menos riesgo de “equivocarse” al hacer su interpretación. Y es fácil reconocer que un mapa estructural se ha realizado con la ayuda de fotografías, por su abundancia de datos y la precisión de dibujos.

- La exageración del relieve obtenida en la visión estereoscópica, ya que toda estructura geológica queda reflejada por un relieve, la acentuación de los rasgos topográficos permite seguir las estructuras con mayor facilidad, incluso en aquellos puntos que sobre el terreno pasan desapercibidas.

Todo ello convierte las fotografías aéreas en una herramienta imprescindible en el estudio geológico estructural de una zona. Sobre las fotos se pueden seguir los plegamientos en toda su extensión, **trazar la posición de los ejes sinclinales y anticlinales** con gran exactitud, detectar la asimetría y vergencia de los pliegues, erosión de las charnelas, etc., y seguir las estructuras incluso en aquellos casos que se presentan difíciles por la escasez y dispersión de los afloramientos.

#### - Estudio fotogeológico de la fracturación. Generalidades

En geología, el estudio de la fracturación tiene dos objetivos: el estudio tectónico de las formaciones, equivalente al realizado en el campo, que estudia las diferentes fracturas y fallas, desplazamientos efectuados por estas, etc., y el estudio del grado de fracturación de la roca y sus características, como ayuda para su identificación fotogeológica. **El grado de fracturación de una roca puede servir como guía para su identificación fotogeológica. La densidad de fracturas y su grado de visibilidad y claridad en la fotografía son un índice de la rigidez del material, cohesión, dureza, plasticidad, elasticidad, etc.** Así, el granito presentará un alto grado de fracturación, igual que el gneis, las cuarcitas, etc., mientras que arcillas, arenas, yesos, etc., tiene un grado de fracturación mucho mas bajo.

### - Estudio de la dirección y buzamiento de los estratos.

La apreciación de un ángulo de buzamiento, dirección de un estrato, etc., son observaciones fáciles de realizar en la fotografía. **La actuación de los agentes erosivos, ahondando y excavando con más facilidad en las rocas deleznable que en las resistentes, va acentuando los rasgos topográficos, poniendo de manifiesto las estructuras íntimamente relacionadas con ellos. Según la etapa en que se encuentre el ciclo erosivo, la topografía será más o menos acusada, y, por tanto, los rasgos estructurales.** De todas maneras, las estructuras suelen traslucirse en las fotografías aun en una fase de arrasamiento total, permitiendo seguir la dirección de los estratos, aunque a veces no pueda apreciarse la dirección y sentido de su buzamiento (foto 12-1).

En los casos en que la erosión no permita ver con claridad el buzamiento de una capa, pueden aplicarse estas dos reglas generales:

- la capa buza hacia la parte cóncava de la traza marcada por el afloramiento
- el talud que mira hacia el buzamiento es más tendido que el que mira hacia su parte exterior

- **Estratos de poca inclinación.** Son fácilmente reconocibles por la presencia de bandas de tonalidad variable que siguen los niveles topográficos. En perfiles a lo largo de valles, se observan con frecuencia tales bandas paralelas de vegetación mas o menos densa o de tipo diferente, que indican una alternancia de capas de composición variable. En superficies de lutitas y areniscas interestratificadas y de poca inclinación, la tonalidad no es siempre uniforme, sino que presenta un aspecto moteado; las manchas de tono relativamente más oscuro corresponden en la mayoría de los casos a concentraciones de humedad y vegetación en depresiones poco profundas; las paredes suaves y fondo chato de éstas reflejan generalmente un horizonte subyacente de lutitas.

- **Estratos de inclinación media a fuerte.** La cantidad de información estructural que se puede sacar de fotos aéreas dependerá de la **erosión selectiva** a la cual fueron sometidas las rocas. Así, **la erosión de estratos débiles deja para la observación pendientes compuestas de rocas resistentes, se refiere a éstas como pendientes estructurales (dip slope)**, si la pendiente topográfica coincide con la inclinación de los estratos resistentes. Estas pendientes estructurales se prestan muy bien para la estimación y medición de las inclinaciones de los estratos (lámina I).

No deben confundirse, sin embargo, las pendientes estructurales verdaderas con las falsas, cuyas pendientes no reflejan la inclinación verdadera de los estratos; éstas últimas suelen ocurrir en terrenos con litología homogénea y son productos de erosión, meteorización y remoción en masa de material semiconsolidado a suelto, como por ejemplo, conos de escombros de talud o derrubio, terrazas de erosión o acumulación marina, rasgos de deslizamientos y otros. Otros ejemplos de pendientes estructurales falsas son aquellos de forma triangular que representan planos de fallas, localizadas a veces a lo largo de valles (láminas XXI, XXVII).

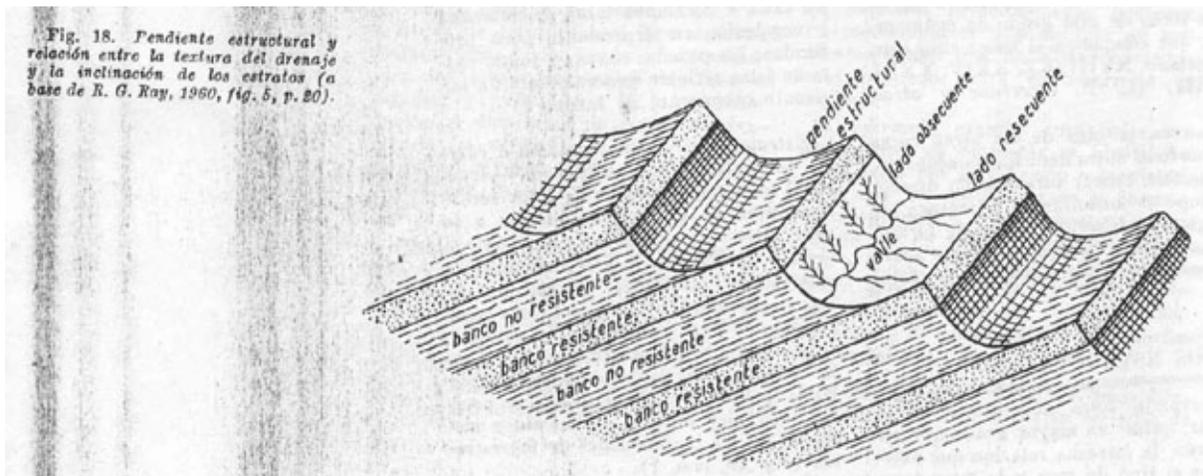
Como en la estimación de inclinaciones en mapas geológicos-topográficos, **la regla de la V** determina, también en fotos aéreas, la inclinación de los estratos. De acuerdo con la misma, la V apunta en la dirección de la inclinación (dip) de las capas, excepto:

- si ambas, la pendiente del valle y la inclinación de los estratos, tiene el mismo sentido de inclinación,
- y, si la pendiente del valle (pendiente topográfica) es mayor que la inclinación de las capas.

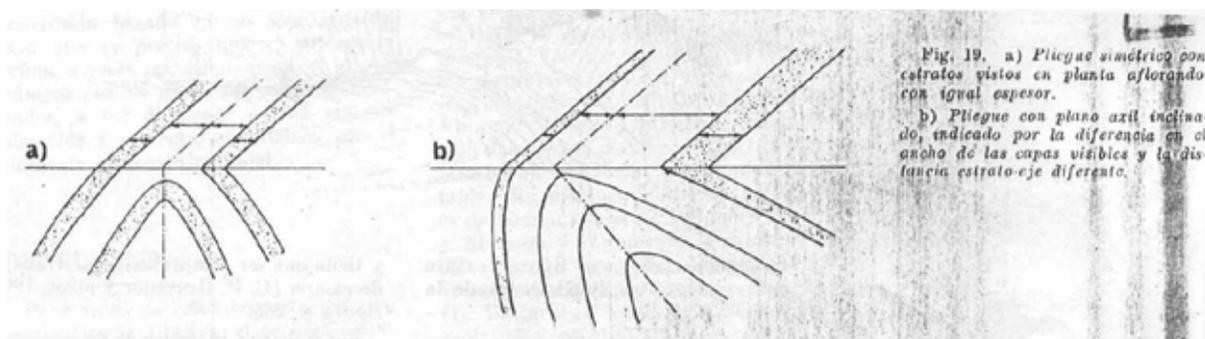
Además, estratos con una inclinación desde muy fuerte hasta vertical no desarrollan una V, sino que cortan el valle en línea recta. Una morfología con espinazos (**hogbacks**) es también, a veces, indicadora de inclinaciones fuertes.

**La parte central de la foto**, es decir, el cuadrado cuyo lados pasan aproximadamente entre el punto principal y los puntos principales transferidos, **es la parte óptima para hacer estimaciones correctas de inclinaciones. Por el desplazamiento de imágenes y por la distorsión de pendientes, no es aconsejable estimar inclinaciones en los bordes de las fotos.** Si la exageración vertical es muy grande debido a una distancia focal corta y la altura de vuelo muy baja, las inclinaciones o pendientes de  $70^\circ$  pueden aparecer en visión estereoscópica como verticales.

Particularmente en terrenos cubiertos por vegetación densa, la red y textura del drenaje son un ayuda valiosa para determinar la inclinación de los estratos. En la parte **obsecuente (subsecuente)** del valle, **la densidad del drenaje es alta**; es decir, hay un número relativamente grande de arroyos pequeños, poco espaciados y cortos. En el lado **resecuente** del valle, por otra parte, **se encuentran relativamente pocos cursos de agua**, cuyos cauces son mas largos, mas espaciados y rectos (ver figura 18, p. 26, Rómer, 1969).



- **Pliegues.** En general, la observación estereoscópica detallada de rumbos e inclinaciones indicará al fotogeólogo, a veces por métodos indirectos ya mencionados, si hay estructuras de pliegues. En áreas con pliegues de poca complejidad, la inclinación del plano axial queda indicado, en planta, por la diferencia de anchura de los estratos y por la distancia capa-eje en ambos lados del eje (figura 19, p. 27 Rómer, 1969).



Por supuesto en terrenos de plegamiento complejo y posiblemente repetido, con pliegues isoclinales, afectados por corrimientos, la interpretación estructural se hace mas difícil y problemática. La comprobación de campo en estos caso es esencial (láminas XII, XV, XXII, XXIII, XXVIII).

Un análisis geomorfológico, en particular, **rasgos de erosión selectiva, el tipo y densidad de drenaje y la actitud de bandas paralelas con concentración de vegetación variable**, son los elementos principales a considerar en la localización de pliegues en áreas cubiertas por vegetación. Los cursos de agua describen a menudo una curva a lo largo de narices de pliegues de fuerte buzamiento. **También se ha observado que los cauces de los ríos que ocupan sinclinales son relativamente más anchos y desarrollan meandros, en anticlinales, tiene la tendencia a ser mas rectos y encajonados.**

**Fallas.** Se usan los mismos criterios de reconocimiento en fotos aéreas como en el terreno, en la mayoría de los casos, las fallas y los movimientos relativos a lo largo de las mismas pueden identificarse con facilidad, aunque su descripción detallada y clasificación deben ser comprobadas pro trabajos de campo. Las fallas de gran inclinación son las que se distinguen mejor. Durante la tarea de fotointerpretación, **los rasgos principales que hacen suponer la presencia de fallas son los siguientes:**

- **valle recto u otro rasgo lineal**, con evidente truncamiento y desplazamiento de unidades litológicas, ríos y otros elementos morfológicos (láminas IX, XII, XXII)
- **alineamientos de ríos, lagos, sumideros**, zonas de vegetación y otros rasgos morfológicos (láminas XXVII).
- **espolones, a veces triangulares (facetas triangulares), a lo largo de cursos de agua**, indicando un rechazo (figura 20, p. 28)
- **cambio brusco en el tipo o textura de la vegetación** en ambos lados de la falla
- pliegues o flexuras son también, a veces, elementos que permiten localizar una falla y suelen indicar los sentidos de movimientos relativos a lo largo de éstas (láminas XII, XXII)
- **cambios evidentes del diseño y textura del drenaje, de la tonalidad o de la textura de erosión.**
- capas en “echelon” hacen suponer una falla de inclinación, mientras que una repetición de capas puede indicar fallas de rumbo
- alineamientos rectos son mas típicos de fallas directas; lineamientos en forma de curva, mas bien de fallas inversas o sobrecorrimientos (lámina I).

La identificación de dislocaciones en terrenos de rocas metamórficas, particularmente cuando se trata de fallas de rumbo o sobrecorrimientos, es difícil y tiene que ser comprobada por trabajos de campo. Sin embargo, la presencia de fracturas, en general, es mas fácil de comprobar con la observación estereoscópica que por trabajo de campo, en particular en regiones cubiertas por una vegetación densa.

#### **Criterios fotogeológicos para el reconocimiento de fracturas:**

- Escarpes, cambios bruscos de pendiente
- Alineación de arroyos
- Tramo de río o arroyo que corre en línea recta durante cierto trecho
- Angularidad de la red fluvial
- Alineación de la vegetación
- Alineación de formas de disolución
- Franja estrecha y alargada, con humedad superior al resto
- Línea recta y neta, generalmente de tono mas oscuro, que atraviesa la roca

- **Discordancias.** Éstas pueden ser raramente diferenciadas de las fallas, ya que en ambos casos los criterios de identificación son similares. Sin embargo, contactos de discordancia en la mayoría de los casos están representados por líneas curvas y discontinuas (Láminas III, V, VI). Por supuesto, estratos cubiertos por coladas o materiales poco consolidados, como, por ejemplo, depósitos de pie de monte, terrazas, etc., son generalmente indicios de discordancias. Una discordancia identificada por trabajos de campo puede servir como base para su localización por medio de fotos aéreas en otros sectores del área.

#### - Tema 4: ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO DE LAS ROCAS

- Definiciones básicas. Importancia.
- Reconocimiento e interpretación. Elementos fundamentales para su fotointerpretación:
  - a) Reconocimiento e interpretación de las rocas ígneas.
  - b) Reconocimiento e “ “ sedimentarias
  - c) “ “ “ metamórficas

#### **El éxito del geólogo en interpretar correctamente las fotografías aéreas dependerá mayormente de los siguientes factores:**

- 1) El tipo, calidad y escala de las fotos, así como también la exactitud con que el vuelo fue realizado.
- 2) La posición geográfica del área fotografiada; por ejemplo, fotos de regiones con clima árido dan generalmente mejores resultados que las áreas con clima tropical
- 3) La litología del área a estudiar; así, **las rocas sedimentarias se prestan generalmente mas a la interpretación que las rocas ígneas; las metamórficas son aún mas difíciles.** Además, áreas en estado de madurez del ciclo geomorfológico son comparativamente mas aptas para la interpretación.
- 4) **La información geológica disponible.**
- 5) **La experiencia del interpretador**, particularmente en los campos de la geomorfología, levantamiento topográfico y de sus conocimientos en geología estructural. La eficiencia y el éxito en fotointerpretación, en general, es directamente proporcional, no tanto al número de libros leídos, sino a la cantidad de fotos aéreas examinadas.
- 6) La interpretación litológica por medio de fotos aéreas es un proceso complicado debido a que el observador debe inferir de evidencias indirectas, la composición de las rocas. Como en cualquier investigación, es preciso que el fotogeólogo reúna y combine todos los elementos a su disposición, **teniendo en cuenta, entre otros factores, la morfología, tonalidad, drenaje, clima, vegetación.**
- 7) Finalmente, la calidad del mapa fotogeológico, dependerá de la posibilidad de verificación en el campo. **Es preciso que las interpretaciones sean comprobadas en el terreno;** mas aún, en la mayoría de los casos, la opinión decisiva sobre la identificación correcta de la litología queda en las manos del equipo de campo, particularmente en lo que se refiere a la composición exacta, detalles estructurales y edad absoluta de la roca.

#### **- El reconocimiento de los tipos de rocas**

Para reconocer o distinguir entre diferentes litologías en una foto, el geólogo necesita dos prerrequisitos: una suficiente correlación entre la geología y la geomorfología y, una combinación de experiencia, paciencia, percepción e ingenuidad. Los atributos fotográficos **tono, textura, patrones, contexto y escala** necesitan ser combinados con un conocimiento de **cómo los diferentes tipos de rocas responden en diferentes climas a la meteorización y erosión.** En esta sección se hace la división básica en rocas sedimentarias, rocas ígneas (extrusivas e intrusivas) y rocas metamórficas. Debido a que muchos tipos de rocas tienen apariencias diferentes bajo condiciones climáticas diferentes, en la medida de lo posible se ilustran con muchas imágenes.

No existe una rutina rígida para el reconocimiento de litologías en la fotointerpretación geológica, sin embargo, es esencial desarrollar un enfoque sistemático, debe ser respaldado por toma de notas sobre las imágenes, de manera que se mantenga un registro permanente, la experiencia se construye de

manera que pueda ser referenciada en un futuro. **Como guía a este enfoque** se recomienda el siguiente esquema general:

- se debe **evaluar el ambiente climático**, si es húmedo, árido, boreal, templado o tropical.
- si existe, **es la vegetación natural o agrícola?**
- **el ambiente de erosión** debe ser evaluado en términos de su energía, su estado de desarrollo y la contribución relativa de la **erosión fluvial, glacial y eólica estimada**.
- el área debe **ser dividida en partes que sean dominados por depósitos superficiales y aquellos que tengan roca madre en o cerca de la superficie**
- **áreas con afloramientos** (outcrops) o roca madre cerca de la superficie deben ser examinadas **en búsqueda de bandeados litológicos**, o su aparente ausencia, y definidos de acuerdo a esto.

El siguiente conjunto de pasos depende de la descripción sistemática de áreas con roca madre expuesta, de ser posible, el terreno debe ser cuidadosamente examinado para **determinar cualquier límite obvio entre diferentes tipos de superficie**, después de una **división preliminar de tipos de superficies contrastantes (unidades de paisaje)**, cada una debe ser descrita utilizando los siguientes criterios claves:

- debe ser descrita **la topografía**, en particular resaltando la resistencia relativa de la unidad a la erosión y cualquier característica anómala
- cuál es el **patrón de drenaje** y cuál es el espaciamiento entre los cursos individuales
- de ser posible, se deben describir la forma de los perfiles o secciones de las características del drenaje mas pequeñas (**cárcavas**)
- debe ser anotado el **uso y cobertura actual** directamente relacionado a cada unidad
- finalmente, si es visible el suelo desnudo o afloramientos rocosos, **su tono y textura debe ser comparado con las otras unidades**, y cualquier característica textural debe ser anotada.

**- En cuanto a la tonalidad típica de rocas, pueden hacerse las siguientes generalizaciones:**

- De tono blanco a gris claro: nieve, agua reflejando luz, nubes, olas, evaporitas, caliche, barreal, **ciertas arenas y gravas, dunas, ciertas tobas, algunos rasgos de alteración hidrotermal (talco, amianto), corales, cuerpos cuarzo-feldespaticos, diques ácidos, pegmatitas, ciertas cuarcitas y calizas.**

- De tono gris mediano: **yeso, rocas calcáreas y dolomíticas, areniscas claras, arcillitas, lutitas, limolitas, margas, intrusivas y efusivas leucocráticas y básicas.**

- De tono gris oscuro a negro: sombra de lagos y cursos de agua, césped, **carbón, areniscas y lutitas rojas, grauvacas oscuras, areniscas con contenido orgánico, rocas intrusivas, efusivas, básicas y ultrabásicas.**

## 4.2.- Reconocimiento e interpretación. Elementos fundamentales para su fotointerpretación:

### a) Reconocimiento e interpretación de las rocas sedimentarias

**Nota:** en adelante las Láminas son de Römer (1969) y Fotos son de López (1988).

#### - Rocas sedimentarias:

- Detríticas: Conglomerado, Brecha, Arcosa, Grauvaca, Lutita
- Químicas: Inorgánicas (Caliza, Dolomía, Sílex, Yeso), Orgánicas (Caliza, Sílex, Carbón)

Por la **estratificación, tonalidad y erosión diferencial**, las rocas sedimentarias **son relativamente mas fáciles de identificar** sobre fotos aéreas que las rocas ígneas y metamórficas. La estratificación es muchas veces reconocible en la parte obsecuente de valles por las **bandas paralelas de vegetación** que reflejan diferente composición de los estratos. Normalmente, **sedimentitas de grano fino son de tono mas oscuros que las de grano grueso**. El **drenaje es externo o superficial en sedimentitas relativamente impermeables**, como lutitas; **interno o subterráneo en materiales gruesos**, poco o no consolidados, y en rocas calcáreas, particularmente en clima cálido y húmedo.

**Las siguientes foto-características** de los principales grupos sedimentarios se refieren a rocas de composición homogénea; es preciso recordar, sin embargo, que las sedimentitas son raramente de composición uniforme.

- **Conglomerados (Detríticas = D, > 2 mm)**. Suelen tener un **drenaje espaciado, con cárcavas cortas, rectas y con perfil en V; el tono es gris claro y la textura de erosión gruesa**. Materiales conglomerádicos, constituyendo aluviones, conos, médanos, albardones, etc., son fácilmente reconocibles por su relación estructural con otras formaciones y sus rasgos geomorfológicos. Láminas II, III, IV, VIII

En general, la **red de drenaje es espaciada** en materiales bien drenados, mientras que materiales de **poca permeabilidad están caracterizados por una red densa** y una textura moteada. Láminas II y IV

- **Areniscas (D, 2-1/16 mm)**. Aunque la composición, color, estructura y grano de areniscas son muy variables y cambian de un área a otra, puede generalizarse y decir que en las areniscas de grano grueso, **el drenaje es espaciado, a menudo angular por las diaclasas, con cárcavas cortas y con sección en V**; la textura del drenaje se vuelve mas densa, y hay relativamente más vegetación en los paquetes de lutitas intercaladas (Láminas IV, V, VI, XII y XIV). Areniscas cuarzo-feldespáticas **son de tono gris claro**, mientras que las arcosas presentan formas redondeadas, parecida a la morfología de áreas graníticas. Areniscas impuras, como grauvacas, muestran un **tono gris oscuro y textura de erosión mediana; areniscas rojas o con contenido bituminoso también aparecen con tono gris oscuro a negro**, y pueden a veces confundirse con filones, capas o coladas, en caso de no encontrar rasgos volcánicos en estas últimas (Láminas I, III, XII, XIV, XVI, XIX, XXII). El factor clima es importante: así, las **areniscas en regiones áridas soportan poca vegetación en comparación con lutitas**, mientras que **en ambientes húmedos, las areniscas están caracterizadas por sustentar una densa cubierta vegetal**. En cuanto a fallas y diaclasas, son relativamente fáciles de identificar en areniscas (Láminas XII, XXII),

- **Lutitas, limolitas, arcilitas (D, < 1/16 mm)**. Son generalmente las mas comunes de las rocas sedimentarias. Aparecen en la foto con **un tono más oscuro debido al contenido de humedad y frecuente cubierta vegetal**; también se caracterizan por una textura de erosión mucho mas fina que la

Prof. Julián A. Gutiérrez. E-mail: [jgutie@ula.ve](mailto:jgutie@ula.ve) <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/>

de las areniscas (Lámina IV). Por lo común, **el drenaje es externo y denso; las cárcavas son largas**, con perfil en forma de U en el fondo y paredes inclinadas. En clima húmedo, las paredes de las cárcavas son mas suaves que en ambiente árido. El loess presenta una excepción en este respecto, ya que muestra una textura de drenaje muy fino, aunque la roca está bien drenada internamente, las cárcavas en loess tienen generalmente un perfil en U con paredes verticales y fondo chato.

La morfología de lutitas, limolitas y arcilitas depende mayormente del ambiente climático. **En regiones de clima húmedo, la morfología es mas suave que en ambientes áridos, donde una morfología de “mal país” es característica.** Por otra parte, capas horizontales con areniscas intercaladas forman cañones. En la identificación de sedimentitas de composición intermedia que refleja variaciones de facies, la red de drenaje, el tono y la textura son los factores principales a considerar. Así, con un aumento del componente arenoso, **la red de drenaje se pone relativamente mas espaciada, las paredes de las cárcavas mas inclinadas, el tono mas claro y la textura de erosión menos lisa.** En terrenos de lutitas, limolitas y arcilitas hay generalmente pocas evidencias claras de diaclasas o dislocaciones; sin embargo, en terrenos de areniscas y lutitas interestratificadas, la presencia de fallas y diaclasas puede determinarse con mayor facilidad.

**Rocas calcáreas (Químicas = Q).** Entre las rocas sedimentarias, las calizas, dolomitas, margas y otras rocas con contenido calcáreo, son las que se prestan menos a la identificación; el método a seguir aquí es, en muchos casos, por eliminación de otros grupos sedimentarios. **El tono gris claro, la textura lisa de aspecto aterciopelado, rasgos de solución y un drenaje de tipo interno, son las características mas prominentes de rocas calcáreas.** A veces aparece una textura moteada debida a manchas oscuras que reflejan concentración de materiales arcillosos residuales, sin embargo, el aspecto morfológico, el tono, textura y drenaje dependen mucho del ambiente climático. Así, en regiones de considerable precipitación, las calizas soportan comparativamente menos vegetación, en ambiente árido, forman a menudo paredes verticales y llanos chatos. **En regiones tropicales, las rocas calcáreas desarrollan en la mayoría de los casos una morfología de “karst” muy abrupta,** parecida a un paisaje de esponjas con densa cubierta vegetal.

Rasgos de solución, a lo largo de cárcavas o como cuencas pequeñas y poco profundas, distribuidas en superficies extensas, son fácilmente identificables y representan uno de los criterios mas valiosos para diferenciar rocas calcáreas de rocas arenosas o arcillosas (láminas III, VI, VII, VIII). No es fácil identificar rocas calcáreas de composición intermedia, como las margas, por ejemplo, en ese caso, el drenaje es mas parecido al de rocas arcillosas. En terrenos de dolomitas asociadas con calizas, las primeras están caracterizadas por una morfología un poco más dentada y abrupta, pero no hay criterios seguros para distinguir las inequívocamente de las últimas en las fotos aéreas.

#### **- Características fotogeológicas de las rocas sedimentarias.**

Las rocas sedimentarias **son las mas fáciles** de identificar en fotogeología, debido a sus características peculiares. Salvo las que no están consolidadas, como aluviones, conos de deyección, depósitos litorales, eólicos, etc., el resto **suele presentar planos de estratificación** fáciles de identificar en las fotografías porque origina un bandeado característico que en muchos casos puede seguirse durante decenas de kilómetros (lo que no ocurre con los planos de equistosidad de las rocas metamórficas). Este bandeado puede verse resaltado por la **presencia de vegetación desarrollada sólo a favor de algunos tipos de estratos.** Sobre las fotografías es fácil determinar la dirección y el buzamiento de la

serie, sobre todo cuando origina superficies estructurales en la que la superficie topográfica coincide con el techo de los estratos.

## **1.- Rocas detríticas (de López, 1988)**

### **- Análisis fotogeológico de Arcillas (< 1/16 mm) (fotos 19-1 a 8)**

Partículas muy pequeñas, falta de consolidación, “Tierras malas”, Permeabilidad baja, por lo tanto: Drenaje dendrítico, no controlado, Fallas y fracturas difíciles de observar en las fotos, Tonos oscuros.

### **- Análisis fotogeológico de Margas (< 1/16 mm) (fotos 20-1 a 6)**

Son arcillas con un 35 a 65 % de carbonato cálcico, todo igual a las arcillas excepto que no forman tierras malas.

### **- Análisis fotogeológico de Arenas (entre 2 y 1/16 mm) (fotos 21-1 a 3)**

Depósitos no consolidados, poco coherentes, fácilmente erosionables, Permeabilidad alta, Red de drenaje Dendrítica espaciada, grado bajo de fracturación, Tonos claros.

### **- Análisis fotogeológico de Arcosas (entre 2 y 1/16 mm) (fotos 22-1)**

Las Arcosas (Areniscas) son depósitos de manto, generalmente de poca potencia y con frecuencia asociadas al granito, no consolidadas y poco coherentes, permeabilidad alta, drenaje dendrítico (angular) poco espaciado, con ligero control estructural, con buena vegetación, tonos claros.

### **- Análisis fotogeológico de Areniscas (entre 2 y 1/16 mm) (fotos 23-1 a 6)**

Difícil de identificar por variedad de presentaciones (rocas), de resistencia media, estratificación clara, de permeabilidad media, valles en V, drenaje dendrítico poco acusado (angular), con control estructural, frecuentemente falladas y dislocadas, tonos claros.

### **- Análisis fotogeológico de los Conglomerados (> 2 mm) (fotos 24-1 a 3)**

Gran variedad de morfologías y relieves, por origen de los clastos, composición y cohesión de la matriz; con buzamientos bajos forman superficies estructurales, permeabilidad en general alta, drenaje pobre, espaciado, aparecen fallados, tonos claros.

## **2.- Rocas Químicas**

### **- Análisis fotogeológico de las Calizas (Karst) (fotos 25-1 a 13)**

Por su variada composición y génesis presentan los relieves mas variados, grandes relieves o en estratos planos horizontales, con facilidad de observar la fracturación, tonos claros.

### **- Análisis fotogeológico de los Yesos (fotos 27-1 a 3)**

Frecuentemente interestratificado con margas, areniscas, calizas, etc., se presenta formando depresiones o relieves de tipo medio (agujeros, hundimientos, depresiones), tonos blancos, red hidrográfica pobre, difícil de observar la fracturación, vegetación nula o escasa.

## b) Reconocimiento e interpretación de las rocas ígneas

**Rocas ígneas:** Granito, Cuarzo, Feldespato, Moscovita, Biotita, Anfíbol, Basalto, Plagioclasa

**A) Rocas plutónicas (Faneríticas, Intrusivas, Grano grueso).** Las rocas de origen intrusivo, de composición ácida o básica, desarrollan una morfología, drenaje y textura similares. **La diferencia entre los varios grupos de rocas plutónicas está principalmente en el tono.** Las rocas intrusivas muestran una **red de drenaje externa espaciada y bien desarrollada, frecuentemente controlada por diaclasas y fallas** (Láminas XVI, XVII, XIX, XXVII). Se distinguen de las rocas sedimentarias, en especial por la **ausencia de estratificación**, una textura de **erosión homogénea, aunque gruesa**, como también por el drenaje y la distribución mas uniforme de la vegetación. Además, los contactos son un criterio valioso para clasificarlas como intrusivas (Láminas XV, XVII, XXIII)

**A.1) Rocas graníticas (Félsicas, bastante Sílice, últimas en cristalizar).** Dan un **tono gris mediano y textura gruesa**, pero homogénea (Láminas XVI, XVII, XIX), **la morfología mas frecuente es la de lomas suaves**, aunque eso depende del clima. Las rocas graníticas, en zonas tropicales, ocupan generalmente zonas bajas. **Una característica sobresaliente de las cárcavas en ambientes de estas rocas es su terminación en forma de pinzas** (Lámina XXI). Un diagnóstico importante es, en algunos casos, **la red de drenaje angular**, controlado por fallas y diaclasas entrecruzadas, que soportan una vegetación relativamente mas densa, distinguible en la foto, **una red dendrítica o radial es también frecuente.**

**A.2) Rocas básicas (Ultramáficas).** La morfología de rocas básicas o ultrabásicas se diferencia con dificultad de las rocas ácidas. **El tono de rocas básicas es, sin embargo, de gris oscuro a negro.** La textura de rocas ultrabásicas es raramente uniforme, así, **peridotitas**, las cuales parecen de tono casi negro, están a veces caracterizadas por zonas difusas de tono gris mediano, correspondientes a partes serpentinizadas; o un tono gris a blanco, cuando éste corresponde a zonas de amianto o talco (Lámina XII). Además, **las rocas básicas casi no tienen vegetación**, ya que su suelo es poco favorable para el desarrollo de plantas silvestres o cultivos.

**A.3) Diques y filones capa.** Los diques son generalmente bien reconocibles sobre fotos aéreas por las evidencias de sus contactos; además, se manifiestan comúnmente en juegos paralelos formando salientes o depresiones lineales (Láminas XII y XXII). La variación de la tonalidad va de gris muy claro a muy oscuro, dependiendo de la composición (Lámina XXIII). Diques fallados son particularmente muy útiles para comprobar la existencia de fallas y el sentido relativo del desplazamiento de bloques (Láminas XVI y XVII). Los filones de capas son mas difíciles de observar, particularmente si tienen poco espesor, apareciendo sólo en perfiles. En caso de que se presenten como superficies de erosión, tapando en concordancia a otras rocas, su identificación es mas segura. No obstante, antes de identificarlas como tales, es preciso considerar el ambiente geológico general del área bajo estudio, esto es, tener en cuenta la posibilidad de que haya filones capa en dicha región.

**B) Rocas volcánicas (Afaníticas, Extrusivas, Grano fino)** Los elementos principales que en fotos aéreas distinguen las rocas volcánicas de las intrusivas son las siguientes: **su morfología, la presencia de estructuras de flujo y de cierta alternancia o bandeado, el tono gris claro a blanco de rocas piroclásticas, y la textura comúnmente moteada y poco uniforme.** Además, **las rocas efusivas son, en general, porosas y permeables y, por consiguiente, no muestran un drenaje bien definido**, aunque esto dependerá de la edad y el clima.

**B1) Efusivas básicas (Máficas, 1ras en cristalizar, poco Sílice, Basalto, Gabro).** Típicas de los basaltos son de tono gris oscuro a negro, la textura moteada y rasgos de flujo. A veces la superficie aparece cubierta de manchas de tono gris claro, reflejando meteorización o alteración hidrotermal. Es característica la forma lobulada con rasgos de flujo en coladas y “mudflows” volcánicos, como también la discordancia angular con rocas subyacentes. Las coladas de menor viscosidad son generalmente de composición mas básica, y en consecuencia, son de tono relativamente mas oscuro y con textura claramente arrugada. En coladas relativamente recientes, el drenaje es comúnmente mas bien interno e irregular; pero en basaltos viejos puede aparecer como paralelo o dendrítico (Lámina IX). Basaltos en clima árido o húmedo soportan generalmente poca vegetación; sin embargo, en ambientes tropicales, rocas basálticas con desarrollo de lateritas están cubiertas por una densa vegetación y suelos aptos para cultivos.

En áreas con varias coladas, éstas son relativamente fáciles de diferenciar entre sí (Láminas X y XIII). En la mayoría de los casos, las coladas mas antiguas tienen tono mas oscuro, una vegetación mas densa y un drenaje mas uniforme y mejor desarrollado que en cuerpos efusivos recientes. Comúnmente, se observan las bardas típicas de coladas horizontales, en perfiles a lo largo de los ríos que atraviesan terrenos volcánicos. Se advierte a veces, perfectamente, rasgos de deslizamientos (Lámina XI), típicos de áreas de basaltos y rocas arcillosas subyacentes. Por el contrario, es difícil a veces, diferenciar coladas volcánicas de areniscas rojas y de bancos gruesos, ya que el tono y textura pueden ser similares en ambos casos. Sin embargo, los contactos, la morfología de montículos, la forma lobulada y la textura moteada, el drenaje irregular y los rasgos de flujo son buenos elementos para la diagnosis.

**B2) Efusivas ácidas.** Aunque el tono es parecido al del granito, gris claro, la textura es normalmente mas lisa. La morfología, por lo menos en ambientes áridos, es mas abrupta y las serranías mas agudas que en terrenos graníticos. El drenaje es irregular, a veces **dendrítico o angular**, con cabeceras en forma de pinza. Hay menos indicios claros de estructura de flujo que en coladas basálticas; comúnmente, se observa una leve estratificación debida a bandas de rocas piroclásticas intercaladas. En general, es difícil identificar sobre fotos aéreas rocas efusivas ácidas como tales, sin haber encontrado previamente cierta información en la literatura o en el campo.

**B3) Rocas piroclásticas (Toba).** Los rasgos aerofotográficos de las rocas piroclásticas son muy variables, ya que pueden constituir rocas consolidadas o no consolidadas, friables o masivas, de grano fino a grueso, de colores variados y de composición muy distinta. En general, **se puede afirmar que rocas tobáceas tienen características similares a lutitas y limolitas, es decir, una red de drenaje densa y textura uniforme.** Sin embargo, **el tono es en la mayoría de los casos mas claro y llega hasta blanco.** Los piroclásticos de grano grueso, como aglomerados, por ejemplo, muestran tonos de gris claro a oscuro, a veces negro, y una red de drenaje del tipo interno, por ser un material mas bien permeable (Lámina II)

La morfología y la cubierta vegetal dependen mayormente del clima. En ambiente tropical, zonas de **rocas tobáceas** son fértiles, con vegetación densa y relieve relativamente poco accidentado; en zonas áridas, **rocas piroclásticas** forman serranías agudas y escarpas abruptas, y sostienen muy poca vegetación (Láminas IX, XIV, XXII). La estratificación, muy común en las rocas piroclásticas, produce en la foto una textura bandeada, por supuesto, su asociación con rocas volcánicas ayuda a su identificación como tal.

### - Estudio fotogeológico de las rocas plutónicas. (de López, 1988)

Generalmente es fácil identificar las rocas plutónicas en fotogeología, aunque no diferenciar unas de otras y ni tan siquiera si se trata de rocas plutónicas ácidas o básicas, ya que ambos grupos tienen unas características fotogeológicas muy parecidas.

### - Estudio fotogeológico del Granito. (fotos 28-1 al 6, 28-9, 28-10, 28-11)

Siempre aparece formando una masa homogénea y uniforme en la que no aparecen direcciones predominantes, origina gran diversidad de relieves, desde grandes cordilleras a extensas penillanuras, con redes de drenaje dendríticas y/o angulares por control estructural, siendo su intensa fracturación la característica fotogeológica más sobresaliente en la tectónica del granito (por su poca elasticidad). Con frecuente presencia de diques (reconocibles por la erosión diferencial, Foto 28-5 y 28-9), con bastante vegetación, y tonos gris claros.

### c) Reconocimiento e interpretación de las rocas metamórficas.

**Rocas metamórficas:** Pizarras, Filitas y Esquistos, Gneises, Mármoles, Cuarzitas, Anfibolita

### - Estudio fotogeológico de las rocas metamórficas. Tipos de metamorfismo.

**1.- Metamorfismo de contacto.** Se produce cuando la ascensión de un magma hacia las zonas superficiales de la corteza terrestre provoca, por su elevada temperatura, un cambio brusco en las zonas que atraviesa. Este cambio afecta solo a la zona de contacto de la roca encajante, siendo su extensión variable. El metamorfismo de contacto solo se aprecia en la fotografía en el caso de que la zona afectada sea extensa o el metamorfismo suficientemente acusado para translucirse en el color de la roca, morfología, drenaje o cualquier otro efecto capaz de ser percibido.

**2.- Metamorfismo dinámico.** Tiene lugar en zonas de grandes trituraciones, zonas de fallas y fracturas intensas, donde las rocas se deforman por la presión sufrida, reorganizándose su estructura. Producto de este metamorfismo, por ejemplo, son las milonitas. Este metamorfismo es difícil de apreciar en la fotografía por su reducida extensión.

**3.- Metamorfismo regional.** Es el más importante, pudiendo afectar cientos de kilómetros cuadrados. Es el que ha dado lugar a la formación de los principales tipos de rocas metamórficas.

**Las rocas metamórficas no son solamente el grupo de rocas más difícil de identificar** en fotos aéreas, sino que también **hay pocos indicios para distinguir las unidades metamórficas entre sí, por el simple hecho que son productos de rocas ígneas, sedimentarias, e inclusive otras metamórficas** y, por lo tanto, contienen rasgos típicos de esos grupos litológicos. Además, el origen sedimentario, ígneo o metamórfico de la roca metamórfica se hace aún más difícil de determinar por el grado y el tipo de metamorfismo tan variable a que la roca pudo haber sido sometida.

Antes de considerar el tipo de roca metamórfica, **sería prudente examinar bien los rasgos regionales del área a estudiar y reunir toda la información geológica disponible de regiones adyacentes.** La verificación previa de campo es, en muchos casos, necesaria para identificar el tipo de roca metamórfica.

- **Pizarras.** El aspecto de las pizarras es muy similar al de las lutitas, **el tono es gris mediano, la red de drenaje es muy densa, dendrítica o angular, con cárcavas largas y profundas, con paredes suaves y fondo llano.** Es preciso tener cuidado en no confundir el clivaje con la estratificación, a menos que se encuentren intercalaciones de cuerpos mas competentes, como areniscas, por ejemplo. En general, no es posible identificar en las fotos pizarras como tales, sin tener previamente datos geológicos directos de la región.

- **Mármol.** Dado que el grado de recristalización de las rocas calcáreas no se manifiesta en las fotos aéreas con ningún rasgo característico, el mármol no es identificable como tal.

- **Filitas y Esquistos.** En las fotos **las filitas se presentan parecidas a las pizarras;** sin embargo, los esquistos pueden identificarse con mas certeza, particularmente si son de alto grado de metamorfismo y están caracterizados por una separación muy pronunciada de componentes cuarzo-feldespáticos y micáceos, **el tono suele ser gris mediano** con salientes lineales de tono claro y textura mas gruesa, correspondientes a vetas o a pegmatitas. A veces, los complejos de esquistos contiene intercalaciones de rocas básicas metamorfizadas (anfíbolitas) que aparecen en fotos como cuerpos o zonas difusas y discontinuas de tono gris oscuro a negro (Láminas XII, XXII, XXIII).

La red de drenaje depende principalmente de la composición de los esquistos y de la presencia de fracturas, así, en esquistos ricos en cuarzo y feldespato, el drenaje es menos denso que en esquistos principalmente micáceos. La morfología es mas abrupta en ambientes áridos que en climas húmedos, mas propicios para el desarrollo de suelos. Observando grandes superficies, comúnmente los esquistos se identifican como tales por la **exfoliación o esquistosidad**, que en muchos caso es **intensamente plegada** y, por lo menos en partes, puede ser de fuerte inclinación (Láminas XV, XXV). En terrenos áridos se destacan muy bien líneas o bandas paralelas de vegetación, que corresponden a horizontes de composición o metamorfismo variable.

- **Gneises y migmatitas.** Son poco diferenciables de esquistos. En terrenos de clima tropical son comúnmente cubiertos por vegetación y un manto grueso de meteorización, haciendo la identificación casi imposible. En ambientes áridos o en terrenos afectados por glaciación continental, sin embargo, zonas paralelas de tonalidad variable y estructuras de pliegues de fuerte buzamiento son sus rasgos diagnósticos principales. También es característica la textura litológica poco uniforme, dada por cuerpos intrusivos discordantes o intercalaciones de material leucocrático de tono gris claro a blanco. La red de drenaje es posiblemente las menos angular y generalmente mas densa que en terrenos de roca graníticas homogéneas, aunque aquí también las cárcavas suelen desarrollar forma de pinza (láminas XXI y XXVII).

**El tono es parecido al de las rocas graníticas,** pero la textura litológica tiene un aspecto mucho menos regular, reflejando la composición variable de rocas de alto grado de metamorfismo, que componen el basamento cristalino (láminas XVIII, XX, XXIV, XXVI, XXVIII). Como en el caso de las otras rocas metamórficas antes descritas se aconseja, si es posible, buscar información directa de campo o consultar la literatura de las regiones adyacentes, antes de formular una opinión basada solamente sobre la observación estereoscópica de fotos aéreas.

- **Características generales de las rocas metamórficas. (de López, 1988)**

- Pizarrosidad: minerales con orientación en una misma dirección con planos de exfoliación mas débiles que el resto

Prof. Julián A. Gutiérrez. E-mail: [jgutie@ula.ve](mailto:jgutie@ula.ve) <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/>

- Drenaje: espaciado con control estructural (salvo las cuarcitas)
- Tono: colores oscuros (salvo las cuarcitas)

**- Estudio fotogeológico de las Pizarras. (fotos 30-3 y 30-4)**

Originalmente Arcillas, Limos, Cienos, Lutitas. Relieves bajos, planos, drenaje dendrítico bastante tupido con control estructural, la fracturación es difícil de apreciar, vegetación escasa, tonos gris medio a oscuro.

**- Estudio fotogeológico de los Esquistos. (fotos 31-2 )**

Intercalados con las pizarras, relieves medios, lomas largadas, con drenaje dendrítico espaciado, con vegetación en climas húmedos y poca en áridos, tonos gris medio a oscuro.

**- Estudio fotogeológico de las Cuarcitas. (fotos 32-1, 32-2, 32-3, 32-7, 32-4, 32-8)**

Relieves fuertes, Sierras alargadas, plegadas, con estratificación, buzamientos fuertes, drenaje recto y paralelo a los estratos, fracturación intensa, vegetación escasa, tonos claros.

**- Estudio fotogeológico de los Gneises. (fotos 33-1, 33-2, 33-3)**

Semejante al granito, duro y resistente, con mucha fracturación, presencia de diques, con abundante vegetación, tonos claros. Se diferencia en la presencia de un bandeado discontinuo e irregular (el granito es uniforme), de aspecto menos rugoso, sin diaclasas.

## - Bibliografía

- **Allum, J.A.E. 1978.** Fotogeología y Cartografía por Zonas. (Biblioteca de Ing<sup>a</sup> Geológica).
- **Boulter, C. 1.989.** Four dimensional analysis of geological maps. Techniques of interpretation. (Ing<sup>a</sup>). Cota: QE36-B68.
- **López, M A 1988.** Manual de Fotogeología.. Cota: QE33L66 1988 (Ing<sup>a</sup>)
- **De Römer, H. 1969.** Fotogeología Aplicada. Cota: QE33.2 A3 D4 (Ing<sup>a</sup>)
- **Förster, A. and Merriam, D. 1996.** Geologic modeling and mapping. Computer applications in the Earth sciences. (Ing<sup>a</sup>) Cota; QE34G4.
- **Gutiérrez, M. 1993.** Compendio de Teledetección Geológica. Cota: QE33.2-R4G88-C.2 (Geografía)
- **Martínez, J.A.1989.** Cartografía Geológica. Cota: QE36-M378. (Ing<sup>a</sup>)
- **Martínez, J.A. 1981.** Geología Cartográfica: ejercicios sobre interpretación de mapas geológicos. QE36.M37g (Geografía)
- **Pernía, E. 1987.** Guía práctica de fotointerpretación. Cota: TR810-P475 (Forestal)
- **Strandberg, C. 1975.** Manual de fotografía aérea. Cota: TR810-S8 (Forestal)
- **Gupta, Ravi. 1.991.** Remote Sensing Geology. 365 p Springer-Verlag. Germany. Cota: QE332R4G8. (Ing<sup>a</sup>)
- **Scanvic, J. Y. 1983.** Utilisation de la teledetection dans les sciences de la terre. Bureau de recherches géologiques et minières. Orleans Cedex. France. 160 pp.
- **Powell Derek. 1992.** Interpretation of geological structures through maps. Cota: QE36-P69 (Ing<sup>a</sup>)
- **Drury, S.A. 1993.** Image interpretation in geology. 2<sup>nd</sup> edition Cota: QE33.2-R4D7. (Ing<sup>a</sup>)
- **Siegal, B. y Gillespie, A. 1980.** Remote Sensing in Geology. QE33.2-S4R45. (Geografía)
- **Tar buck, E. y Lutgens, F. 2001.** Ciencias de la Tierra, una introducción a la Geología Física.
- **Lillesand, T. y Kiefer, R. 1979.** Remote Sensing and image interpretation. 2<sup>nd</sup> edition.
- **Lillesand, T. y Kiefer, R. 2004.** Remote Sensing and image interpretation. 5th edition.