

## FOTOGEOLOGÍA Y DETECCIÓN REMOTA

### *Photogeology and remote sensing*

Jorge Medina (\*)

#### **RESUMEN**

*Proponemos la realización de un taller de carácter didáctico y experimental, destinado a mostrar a los participantes actividades relacionadas con la utilización de fotografías aéreas y su observación en estereoscopia. Se utilizará un estereoscopio de espejos y un par de fotos estereoscópicas, en las que se observará el relieve de la zona, se identificarán varios aspectos geomorfológicos y otros resultantes de la actividad humana, además de algunas características geológicas.*

#### **ABSTRACT**

*We propose the realization of a didactic and experimental workshop to introduce the utilization of aerial photos and their stereoscopic observation. It will be used a mirror stereoscope apparatus and a stereo-pair photographs of a specific area where the participants of this workshop will observe several geomorphological aspects such as relief, anthropogenic activity and several geologicay.*

**Palabras Clave:** *Fotogeología, detección remota, fotografías aéreas, visión estereoscópica, estereoscopio de espejos, par estereoscópico.*

**Keywords:** *Photogeology, remote sensing, aerial photos, stereoscopic view, mirror stereoscope, stereo-pairs.*

#### **INTRODUCCIÓN**

Se pretende en este taller hacer alguna interpretación topográfica, geomorfológica y geológica usando fotografías aéreas tradicionales y con la ayuda de un estereoscopio de espejos.

Las fotografías aéreas, son normalmente obtenidas a partir de cámaras fotográficas montadas en aviones que sobrevuelan una determinada zona que se quiere estudiar. Las fotografías son imágenes resultantes del tratamiento químico de una película. Las imágenes de satélite son obtenidas por sensores, especialmente concebidos para fines específicos que son posteriormente enviadas para estaciones de recepción existentes en la Tierra. Algunas imágenes captadas por algunos satélites específicos también pueden ser usadas para hacer "fotogeología".

#### **FOTOGEOLOGÍA Y DETECCIÓN REMOTA**

El objeto de la fotogeología es el estudio de la superficie terrestre, los diversos tipos de materiales que integran y de las huellas que sobre ellos han dejado la serie de procesos a los que han estado sometidos a lo largo de los tiempos geológicos (Lopez Vergara, 1978). La fotogeología utiliza fotografías aéreas que son usadas para hacer detección remota.

La detección remota, o teledetección, es una técnica que, a través de la adquisición de imágenes,

permite obtener información de la superficie de la Tierra sin existir contacto directo con ella. La detección remota engloba todos los procesos que permiten captar y registrar la energía de un rayo electromagnético emitido o reflejado, tratar y analizar la información, para después ser utilizada en los más diversos campos de aplicación ([http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index\\_e.php](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index_e.php)).

Tres de los cinco sentidos del ser humano (vista, oído y olfato) son usados para hacer detección remota, ya que la fuente de información se encuentra lejos, mientras que los restantes (gusto y tacto) están directamente en contacto con ella.

#### **ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO**

Todo el sistema de detección, cuyo resultado sea una fotografía o imagen, se basa en el registro de las longitudes de onda emitidas o reflejadas por los cuerpos y objetos y su transformación en una imagen visible, para que pueda ser estudiada y analizada fácilmente. La detección remota implica una interacción entre la energía incidente y el cuerpo o el objeto que queremos estudiar. En el origen del proceso tiene que existir una fuente de energía que ilumina o proporciona energía como radiación electromagnética. Esta fuente de energía es normalmente el Sol.

(\*) Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro. 3810-193 Aveiro (Portugal). [jmedina@geo.ua.pt](mailto:jmedina@geo.ua.pt)



El espectro electromagnético tiene varias longitudes de onda; desde cortas (rayos gamma y rayos x) hasta largas (microondas y ondas radio). La luz que nuestros ojos detectan (uno de nuestros sensores remotos) es el espectro visible, que corresponde a una pequeñísima porción de todo el espectro electromagnético (Fig. 1). La mayoría de la radiación electromagnética que nos rodea no es visible para los ojos de los humanos pudiendo, sin embargo, ser captada por otros sensores de detección remota.

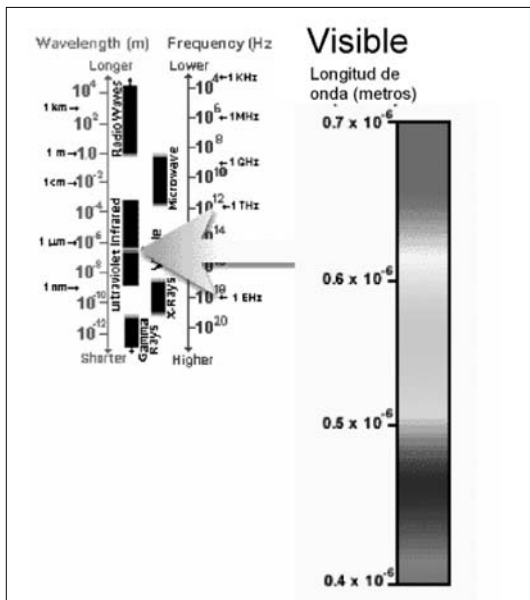


Fig.1. El espectro visible. Las longitudes de onda visibles están comprendidas entre 0,4 y 0,7  $\mu\text{m}$  (morado); 0,4 – 0,446  $\mu\text{m}$  azul; 0,446 – 0,500  $\mu\text{m}$  verde; 0,500 – 0,578  $\mu\text{m}$  amarillo; 0,578 – 0,592  $\mu\text{m}$  naranja; 0,592 – 0,620  $\mu\text{m}$  rojo; 0,620 –  $\mu,7 \mu\text{m}$ ) y es la única porción del espectro que puede ser asociada a colores.

## FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Según el ángulo de adquisición, como ilustra la figura 2, las fotografías aéreas pueden ser (Gupta, 1991): verticales, cuando el eje óptico de la cámara fotográfica coincide con la vertical del lugar del campo fotografiado; oblicuas, cuando la toma se realiza con un ángulo respecto a esta vertical, que normalmente oscila entre los 10 y 30 grados; y panorámicas, ya que registran la línea del horizonte. Las fotos que vamos estudiar en este taller son fotografías verticales tomadas de un avión.

La adquisición de las fotografías verticales suele ser sistemática, barriendo por completo la zona seleccionada. El barrido se hace por bandas, y al final de cada una se invierte la dirección del avión para empezar otra nueva paralela a la anterior. El rumbo del avión debe mantenerse constante durante la adquisición de una banda, con el objetivo de que las fotografías no queden desfasadas unas con respecto a otras. La altura de vuelo debe ser constante para que la escala sea igual en todas las fotografías.

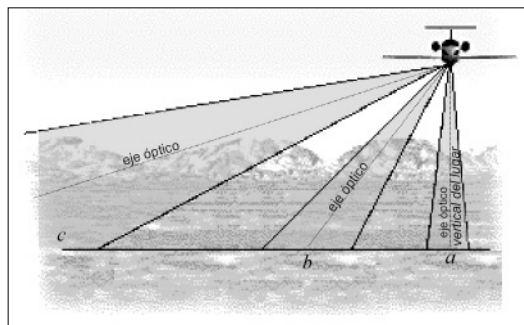


Fig. 2. Diversos tipos de fotografías aéreas según su ángulo de adquisición. a: vertical; b: oblicua; c: panorámica.

La figura 3 presenta esquemáticamente la toma de una fotografía aérea vertical (Lopez Vergara, 1978).

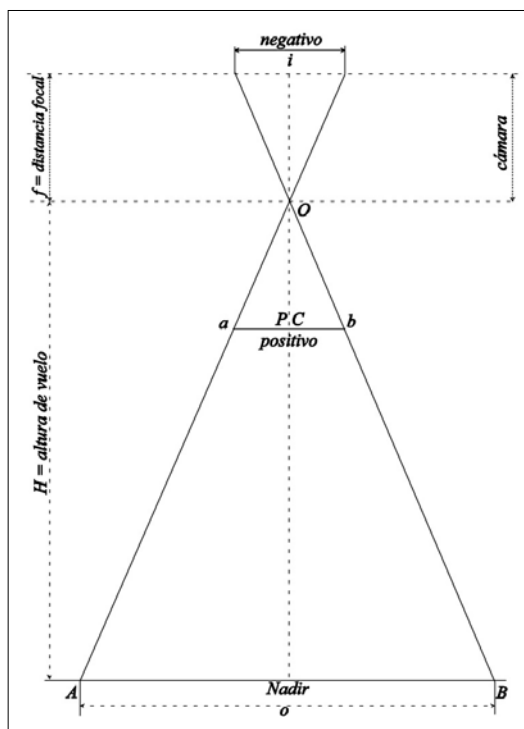


Fig. 3. Terminología de una fotografía vertical. Altura de vuelo ( $H$ ) en el momento de la toma es referida al nivel del mar. Altura de vuelo sobre el terreno ( $H_0$ ) es la distancia existente entre el centro de la cámara y el terreno en el momento de la exposición. Distancia focal ( $f$ ) es la distancia que existe entre el foco de la lente y el negativo de la película. Eje óptico es la línea ideal que, pasando por el centro de la cámara, es perpendicular a la película expuesta en su punto medio. Punto central (PC) es 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 distancia focal y la altura de vuelo no están a la misma escala (modificado de Lopez Vergara, 1978).



### Escala

Escala de una fotografía ( $1/E$ ) es la división entre la distancia focal ( $f$ ) y la altura de vuelo ( $H$ ):  $1/E=i/o=f/H$  (Fig. 3). Es decir: cuando la altura de vuelo aumenta, la escala de la fotografía disminuye; cuando la distancia focal aumenta, la escala de la fotografía aumenta. Estos cálculos son válidos cuando el tamaño de la fotografía positivada es el mismo que el del negativo obtenido en vuelo, que es el caso de este taller. La escala de una fotografía solo se puede usar cuando la zona sobrevolada es llana, sin cambios acusados de terreno. En el caso de un terreno accidentado, la escala variará de un punto a otro de la fotografía, ya que la altura de vuelo sobre un valle será mayor de que sobre una montaña. Ésta es una de las principales diferencias que existen entre las fotografías y los mapas.

### Desplazamiento radial

Las fotografías aéreas están tomadas con un sistema de proyección cónica, siendo el centro óptico del objeto el centro de perspectiva. La dirección deste desplazamiento es radial a partir del nadir, de sentido hacia la periferia, cuando el objeto esté por encima del plano de proyección (Fig 4), y en sentido contrario, cuando esté por debajo. El punto central, al ser coincidente con el nadir en las fotografías verticales, no sufre ningún desplazamiento, siendo igual su proyección en el sistema cónico que en el ortogonal. El dibujo de los mapas está basado en un sistema de proyección ortogonal.

### VISIÓN ESTEREOSCÓPICA

La visión tridimensional de los humanos es posible debido a la visión simultánea de los objetos desde distinto ángulo, el correspondiente a cada ojo, y su coordinación mental. Gracias a esta doble visión podemos apreciar distancias, espesor y profundidades. Si la visión se efectúa a través de un solo ojo

(tapando el otro) este sentido de dimensión desaparece, aunque por la costumbre se tenga una sensación del mismo que no corresponde a la percepción de dicho momento. Intentar, con un ojo cerrado, enhebrar una aguja o tocar la esquina de una mesa con la punta de un lápiz, son misiones imposibles.

Es posible tener una perspectiva tridimensional de una imagen, visión estereoscópica, desde que las imágenes cumplan algunos requisitos. La figura 5 presenta un esquema del avión tomando dos fotografías verticales consecutivas. Para tener una buena visión estereoscópica debe haber sobreposición de 60% del total de la fotografía, o sea,  $2/3$  partes del total de terreno fotografiado. Si la visión en relieve es posible por la visión simultánea de los objetos desde distinto ángulo, y su coordinación mental, si tenemos dos fotos de un mismo terreno tomadas desde distinto ángulo, solo falta el poder coordinarlas en el cerebro para obtener la visión en relieve. A dos fotografías consecutivas con estas características se designa par estereoscópico. En el caso de las fotografías verticales, pueden ser cualquier par de fotografías consecutivas a lo largo de una línea de vuelo siempre que cumplan los siguientes requisitos: a) Deben tener una escala igual o muy aproximada; si hay grandes desniveles de terreno o ha variado la altura del avión, la visión se dificulta, pudiendo llegar a impedirse. b) La sobreposición de las fotos debe ser de 60% del terreno fotografiado. c) El rumbo del avión debe ser constante para que una foto no quede girada con respecto a la otra. d) Que en el momento de la exposición, la verticalidad de la cámara sea total.

Al estar solapadas las fotografías, el Punto Central de una foto aparecerá también en el lateral de la foto adyacente, donde recibe el nombre de Punto Transferido (figura 5). La distancia entre el Punto Central de una fotografía y cualquiera de los Transferidos es la fotobase. Si el Punto Central y el Transferido no tienen la misma cota, la fotobase será distinta en las dos fotografías debido al desplazamiento

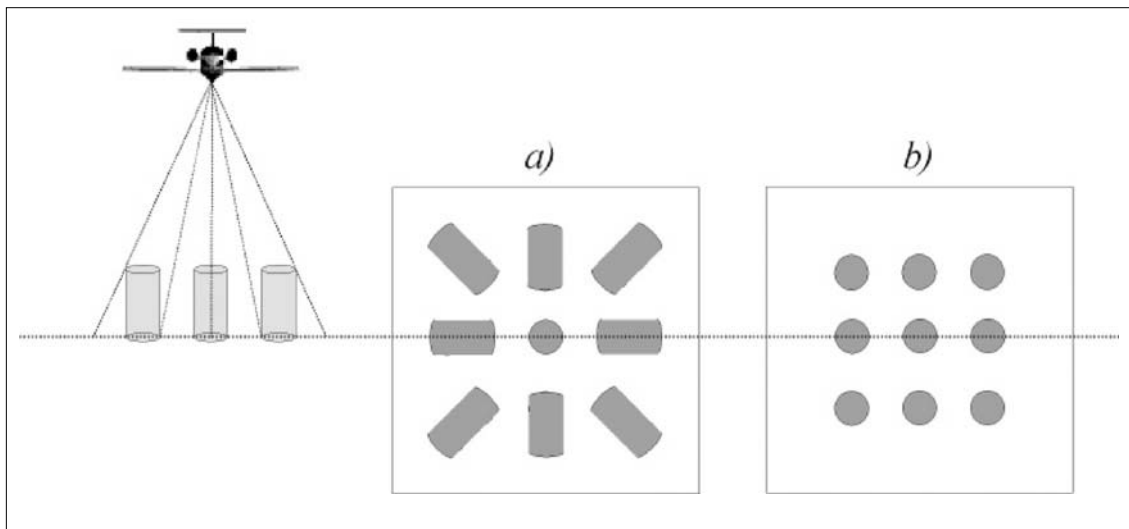


Fig. 4. Desplazamiento radial. Imaginemos nueve cilindros idénticos en una superficie plana, su representación en fotografía aérea es la representada en a), o sea, su desplazamiento es radial a partir del centro de sentido hacia la periferia (proyección cónica); b) proyección ortogonal, o sea, la misma que en los mapas.



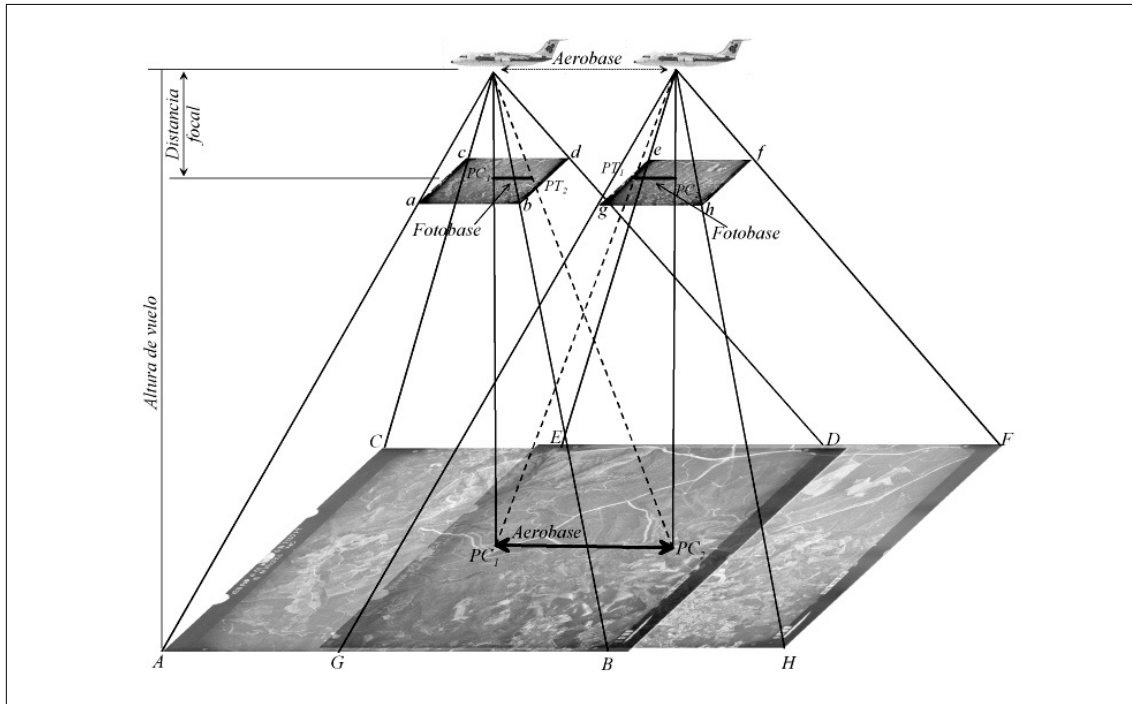


Fig. 5. Adquisición de dos fotografías consecutivas (par estereoscópico). La fotografía de la izquierda abarca el terreno comprendido entre los puntos ABCD, mientras la de la derecha, el comprendido entre EFGH. La área común, EDGB, corresponde a 2/3 del total de terreno fotografiado y será la zona que se podrá reproducir en visión tridimensional. Aerobase es la distancia que hay entre dos tomas sucesivas de fotografías; su equivalente sobre la fotografía es la fotobase (modificado de Vergara, 1978).

radial del relieve, siendo mayor en la fotografía en que el Punto Transferido tenga mayor cota. La línea que une el Punto Central y los dos Transferidos en una fotografía es la línea de vuelo.

### La toma de pares de fotos estereoscópicas con cámaras de formato pequeño

La estereofotografía, correspondiendo al proceso de la visión natural, se basa en que el objeto de interés se fotografía desde dos puntos apartados (Fig. 6). La distancia entre los dos puntos de toma (B) es la equivalente a la aerobase en la figura 5. Después de haber disparado la primera foto, el fotógrafo se

mueve lateralmente a la dirección de toma (A) y saca la segunda foto con la misma dirección de toma (Fig. 6). Si se trata de objetos cercanos, es suficiente mantenerse en el mismo lugar para ambas fotos, desplazando solo el busto para la primera foto hacia un lado y, para la segunda foto, hacia el otro lado (Fig.6).

### ESTERESCOPIOS

La visión estereoscópica es más fácil de observar con la ayuda de unos aparatos designados *estereoscopios*. Los estereoscopios son aparatos que utilizamos para coordinar mentalmente dos fotografías de un mismo objeto tomadas desde distinto ángulo, de manera que logremos una imagen virtual tridimensional del mismo. Existen diversos tipos de estereoscopios, y dentro de cada uno de ellos varios modelos con ventajas e inconvenientes.

El más simple de todos es el estereoscopio de lentes (Fig 7), con dos lentes de pocos aumentos separadas entre sí unos 6,5 cm pudiendo ser ajustada a la distancia interpupilar del utilizador. Son muy pequeños, de fácil transporte (pudiendo transportarse en un bolsillo) bajo precio y gran claridad de imagen. Es el más apto para la consulta de fotografías en el campo, estudios rápidos y observación de pares estereoscópicos ya preparados en libros y revistas.

Estereoscopio de espejos lleva, además de dos lentes, unos prismas de reflexión que transmiten el

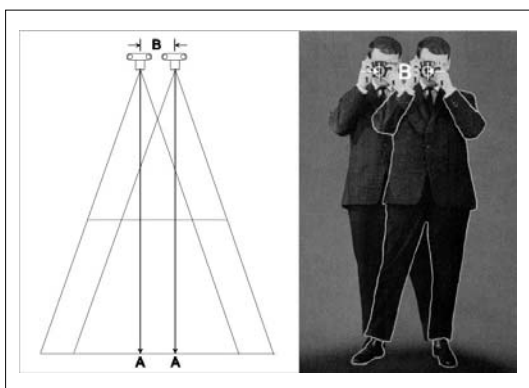


Fig. 6. Toma de pares de fotos estereoscópicas con cámaras de formato pequeño (adaptado de manual del estereoscopio de bolsillo TS 4 de Zeiss).





Fig. 7. Estereoscopio de lentes TOPCON.

haz luminoso transmitido a su vez por unos espejos laterales que reflejan toda o casi toda la porción de fotografía que admite visión estereoscópica (Fig. 8).

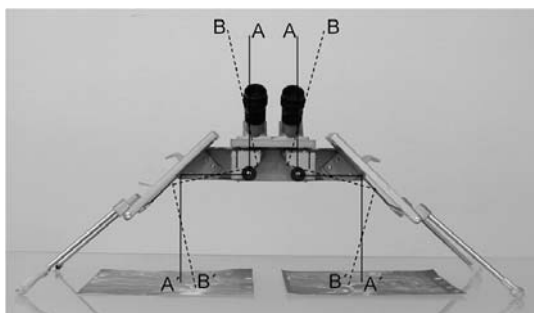


Fig. 8. Estereoscopio de espejos TPOCON MS-3. Si en lugar de enfocar la vista paralela a los ejes ópticos de las lentes, como sería lo correcto (línea AA'), se enfoca al plano de las fotografías, por la costumbre que se tiene de hacerlo así para ver cualquier objeto (línea BB'), la distancia resultante entre B'B' será menor que la AA', lo que obliga a, incorrectamente, acercar las fotografías entre sí.

La separación efectiva de los ojos, en este caso, es la distancia que hay entre los espejos medida a la altura del centro de los prismas ópticos, que coincide con la distancia a la que deben estar los centros de las fotografías. Es conocida como base instrumental e debe ser proporcionada por el constructor del aparato. En el caso de no conocerse, se puede hallar fácilmente por el método siguiente (Lopez Vergara, 1978):

Se coloca una hoja de papel blanco bajo el estereoscopio y mirando a través de los oculares se cierra uno de los ojos y se traza una cruz en la parte de papel que aparece enfocado con el ojo que se tiene abierto. A continuación, y con ambos ojos abiertos, se traza una cruz que sea la conjugada de la anterior, es decir, en la parte de papel correspondiente al ojo que se tenía cerrado se traza una nueva cruz visualmente coincidente con la anterior y se mide la distancia existente entre ambas. Se repite la operación varias veces hasta conseguir que la medida efectuada sea igual en todos los casos; esta repetición se hace

para eliminar los errores introducidos por las pequeñas variaciones de enfoque de los ojos, sobre todo cuando no se tiene una gran práctica en el manejo del estereoscopio. Esta medida es la base instrumental y será la distancia a la que deben estar el Punto Central de una foto y el Punto Transferido correspondiente.

El estereoscopio de espejos lleva incorporados unos prismas de aumento que permiten estudiar las fotografías con gran detalle (Fig. 8). Las ventajas de este aparato son el gran campo de visión, fácil anotación de los datos observados, cómoda postura del operador y ausencia de cansancio visual.

Las personas no acostumbradas a la visión estereoscópica suelen colocar las fotografías a una distancia menor a la que correspondería por la estructura del aparato. Esto es debido a un enfoque defectuoso de la vista, según se explica en la figura 8. Para ver en estereoscopia se posiciona el par de fotografías alineando con una regla las direcciones de vuelo, de modo que entre el Punto Central de una foto y el Punto Transferido correspondiente en la otra exista una distancia igual a la base instrumental. Las direcciones de vuelo deben quedar paralelas al plano del estereoscopio.

## ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO

El primer contacto que tenemos en fotogeología con un terreno es a través de su expresión topográfica. A través de ésta sabemos si nos encontramos ante un terreno homogéneo o formado por diversos tipos de rocas según su topografía sea regular o con diferencias de relieve, producidas por la distinta naturaleza de las rocas, estructura, clima, etc.

La sensación de relieve que se obtiene a través de las fotografías aéreas no se ajusta a la realidad, quedando muy exagerada. El relieve que se aprecia contemplando la tierra desde un avión es función de la altura del aparato y la distancia interpupilar del observador. La exageración del relieve no es constante variando de un tipo de fotografías a otro, dependiendo de los diversos factores que hayan intervenido en su toma y de unas personas a otras. La exageración vertical es muy útil en el estudio fotogeológico, a pesar de la sensación de irrealidad que puede aportar al observador. Gracias a ella podemos apreciar rasgos del terreno, como pequeños diques, capas, etc., que de otro modo pasarían inadvertidos.

El análisis geomorfológico que se puede hacer desde las fotografías aéreas es muy importante debiendo prestar atención a los distintos procesos, tipos de rocas, fracturaciones, plegamientos, etc.

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.

En fotogeología, por la falta de proximidad y contacto con el material en estudio, es necesario basarse en una serie de observaciones de las que saca-



rá la conclusión final respecto a la litología, estratigrafía, tectónica, etc. Estas observaciones pueden ser el modelado del drenaje, tono, vegetación, relieve, topografía de la zona, etc.

La manera correcta de comenzar un trabajo en fotogeología consiste en la anotación cuidadosa y constante de todos los datos que puedan ser necesarios para una posterior interpretación geológica.

Una vez preparadas y montadas las fotografías (con los Puntos Central y Transferidos) se comienza anotando con un lápiz de color determinado, las obras humanas más destacables de la fotografía, carreteras, ferrocarriles, pueblos, minas, etc. Es conveniente tener un mapa topográfico de la zona, siendo una gran ayuda para la localización y rotulación de caminos, canales, nombres de pueblos, etc. Podrá también delimitarse con lápiz, normalmente verde y con tramas distintas, las áreas utilizadas en la actividad agrícola e las áreas de bosque, especialmente si el objetivo es el estudio de la ocupación del terreno.

Una vez terminado el trabajo referente a obras humanas, se pasa a realizar el estudio de la red hidrográfica. Se marcan con un lápiz, normalmente azul, los cauces de los ríos y arroyos más importantes que aparecen en la fotografía, sin necesidad de tener que anotar los arroyos del tercer y cuarto orden.

Terminados los estudios anteriormente citados, se pasa al geológico propiamente dicho (Drury, 1993). En el estudio geológico se debe actuar con una metodología realizando sucesivas observaciones al trabajo hasta completarlo definitivamente. En la primera fase, el estudio preliminar, se pretende tener una visión de conjunto de la zona y nos limitaremos a anotar sólo los rasgos más seguros e importantes de la misma. Este trabajo se debe realizar de una manera metódica y exhaustiva, es decir, anotando todo tipo de capas, afloramientos, fracturas, fallas, y demás rasgos geológicos que sean claramente visibles en la fotografía; se debe prescindir de realizar la interpretación geológica en esta primera pasada, limitándose a realizar un trabajo más mecánico. En las fases siguientes y sucesivas la certeza de la geología se va construyendo en nuestra mente a medida que vamos conociendo cada vez más y mejor las fotografías aéreas y consecuentemente la zona que estamos estudiando. Así, los contactos entre dos formaciones sólo se deben marcar en el caso de que sean absolutamente seguros; en el caso de no estar seguros de la exactitud de un contacto, pero que su anotación sea conveniente para localizarlo en otras fotografías contiguas, se puede realizar por medio de una línea de puntos. Para los distintos tipos de rocas, formaciones, etc, se usan símbolos, tramas y lápices de distintos colores. Por último, no olvidar de hacer una leyenda donde estén identificados todos los símbolos e colores usados en la interpretación fotogeológica.

## EL EMPLEO DE LA FOTOGRAFÍA AÉREA

El empleo de imágenes aéreas en todos los campos, sea fotografía aérea tomada de un avión o sea imágenes aéreas tomadas de un satélite, es cada vez mayor. Sería muy exhaustivo enumerar todos los usos de las imágenes aéreas, ya que son prácticamente ilimitados. Ejemplificaremos sus diversas aplicaciones, sabiendo que todo aquel rasgo geológico, topográfico, agrícola, urbano, etc., que pueda quedar impreso en una fotografía podrá dar lugar a un estudio exhaustivo del mismo a través de ésta, creándose la correspondiente rama de fotointerpretación.

Aquí quedan algunos ejemplos:

- En arqueología se han descubierto monumentos, ciudades, calzadas, etc., cuya existencia no se hubiera conocido por otros medios.
- En estudios florestales, el recuento de especies arbóreas, extensión de bosques, estudio de enfermedades, cubicación de madera, etc.
- En agricultura se utilizan para trabajos de concentración parcelaria, estudio de cosechas, de suelos, evaluación de suelos, clasificación de las tierras más apropiadas para un determinado tipo de cultivo, planteamiento de repoblaciones florestales, estudios sobre la erosión, etc.
- En urbanismo, muchos problemas sobre planificación de ciudades, vías de comunicación, estudios de tráfico, construcciones, obras públicas, etc.
- Para fines militares la fotografía aérea tiene muchas aplicaciones del conocimiento de todos y muchas otras inimaginables para la mayoría de nosotros.
- En geología, la utilización de fotografías aéreas es cada vez mayor; además del menor costo que ofrece el estudio fotogeológico sobre el trabajo de campo, se puede considerar como más completo en algunos aspectos y desde luego, siempre como complementario e imprescindible.

## BIBLIOGRAFÍA

- Drury, S. A. (1993)- *Image Interpretation in Geology*. Chapman & Hall, London: 283pp.
- Gupta, R. P. (1991)- *Remote Sensing Geology*. Springer-Verlag, Berlin: 356pp.
- Lopez Vergara, M.L. (1978)- *Manual de Fotogeología*, Pub. Científicas de la Junta de Energia Nuclear (España): 310pp.
- Zeiss, estereoscópio de Bolsillo TS 4. [http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index\\_e.php](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index_e.php). ■

