



Investigaciones Geográficas (Mx)

ISSN: 0188-4611

edito@igg.unam.mx

Instituto de Geografía

México

Guerra Peña, Felipe

Las doce principales reglas de la interpretación fotogeológica y las bases fundamentales de que se derivan

Investigaciones Geográficas (Mx), núm. 50, abril, 2003, pp. 42-66

Instituto de Geografía

Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56905008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Felipe Guerra Peña. Dedicó sus mejores años a la enseñanza y a la práctica profesional en México; era un experto en las técnicas fotointerpretativas y estimuló a muchos en ese campo del conocimiento. Daba clases en el Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Era consultor de la entonces Dirección de Estudios del Territorio Nacional y trabajaba en el Consejo de Recursos Naturales no Renovables, en donde dirigía el Departamento de Fotogeología.

Las doce principales reglas de la interpretación fotogeológica y las bases fundamentales de que se derivan*

Felipe Guerra Peña

INTRODUCCIÓN

La técnica de interpretación fotogeológica y su importancia en la exploración geológica moderna

La interpretación de las fotografías aéreas, en general, consiste según Colwell (1952: 535-602), en "el acto de examinar las imágenes fotográficas de los objetos, con el fin de identificarlos y deducir su significación". Por su parte, la American Society of Photogrammetry (1952:805-842), define tal operación como "la determinación de la naturaleza y descripción de los objetos cuyas imágenes aparecen en una fotografía".

En sentido amplio, cuando dicha interpretación fotográfica se efectúa con fines geológicos, recibe el nombre de "fotogeología", que la *Photogeology Section, del U. S. Geological Survey* (1956; AGI, 1957; Ray, 1956), considera como "el estudio e interpretación de las fotografías, por lo regular aéreas, con objeto de obtener información geológica, lo que, normalmente, incluye también la presentación de tal información en forma apropiada, como mosaicos, mapas geológicos superficiales, o secciones geológicas".

La técnica fotogeológica constituye, pues, una rama particular de la interpretación de las fotografías aéreas, al lado de otras cuyo objeto es interpretarlas desde los puntos de

vista más diversos, como el geográfico, el edafológico, el forestal, el hidrológico, el arqueológico, el topográfico, el geomorfológico, el urbanístico, el catastral, el agrícola, el de previsión de las inundaciones, el de protección de la acción erosiva, el aplicado a la ingeniería para la construcción de carreteras, ferrocarriles, puertos o presas, etcétera. Esto por lo que se refiere a las actividades civiles solamente, sin tomar en cuenta las de carácter militar, no menos importantes que aquéllas.

Del mismo modo que constituye una división específica de la interpretación de las fotografías en general, la "fotogeología" se subdivide a su vez en varias técnicas, más o menos diferenciadas entre sí, según que la interpretación fotogeológica se aplique a la exploración minera o petrolera, a la hidrológica, o a los diversos proyectos de ingeniería, relacionados principalmente con las obras públicas, etc. En tales casos, la "fotogeología" recibe el calificativo de "minera", "petrolera", "hidrológica", o "aplicada a la ingeniería", respectivamente.

La importancia extraordinaria de la "fotogeología" en los reconocimientos geológicos modernos se debe a su evidente superioridad sobre todos los demás métodos de exploración, especialmente por lo que se refiere a rapidez y bajo costo, así como al notabilísimo hecho de que permite registrar rasgos y

* Publicado en: Guerra Peña, F. (1961), *Anuario de Geografía*, vol. I, 1961, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, pp. 79-116.

fenómenos geológicos que, en ocasiones frecuentes, son de la mayor trascendencia, y que, de otro modo, habría pasado completamente inadvertidos (Guerra, 1950:55-70).

La economía de tiempo en la exploración que este método permite, sorprende una vez experimentado. Así, Dohm (1942), afirma que: "Sin reserva alguna puede decirse que el empleo de fotografía aéreas y mosaicos ha reducido el tiempo en un 80 o en un 90%; sin ellas, muchos de los fenómenos geológicos ahora conocidos y comprendidos nunca habrían sido registrados". Coincide con dicha apreciación Dallmus (1942), al manifestar que: "El tiempo actual del geólogo en el campo para reconocer un área dada, puede quedar reducido a un 10% o a un 30%, del tiempo que se requeriría sin el uso de las fotografías aéreas". Es decir, a sólo un 10 por 100 del tiempo exigido por la geología de campo, en los casos más favorables, o a un 30 por 100 en los menos favorables, con reducciones de 90 por 100 y 70 por 100, respectivamente. Finalmente, Link (1942), actual jefe de exploración de Petróleo Brasileiro, S. A., Petrobrás, la agencia gubernamental petrolera descentralizada brasileña, llega al mismo ventajoso porcentaje de reducción al decir que:

desde que ha sido posible disponer de las fotografías y de los mosaicos, nuestro progreso ha sido grandemente acelerado. Estimamos que un geólogo puede cubrir una superficie tres veces mayor y que la calidad del trabajo es superior, así como que las fotografías permiten obtener a nuestros geólogos un cuadro más real de la verdadera geología. Los mosaicos y las fotografías constituyen una verificación de las observaciones de campo y sirven para que el geólogo tienda a ser más observador y más exacto.

Las tres autorizadas opiniones anteriormente reseñadas se emitieron con ocasión de la fe-

liz conclusión de un importante ensayo fotogeológico, a modo de proyecto-piloto, llevado a cabo en las Antillas Mayores por la Standard Oil Company of New Jersey, en el que tuvo la satisfacción de participar modestamente el que escribe estas líneas, allá por los años de 1940 a 1947.

Desde entonces, la *fotogeología* se ha impuesto de un modo absoluto en todos los trabajos de exploración geológica, que ya son imposibles de concebir sin el uso de las fotografías aéreas, de cuya interpretación preliminar depende el que los reconocimientos se inicien sobre el terreno, en caso de ser aquella favorable, o que se desechen y condenen, en caso contrario. Igualmente depende de la interpretación fotogeológica preliminar la selección de los restantes métodos de exploración que deberán emplearse subsiguientemente en el reconocimiento, en vista del resultado del análisis de las fotografías aéreas en las distintas áreas identificadas.

Hace ya más de un cuarto de siglo que, Woolnough (1933) afirmaba: "Existen pocas dudas de que, en un futuro muy próximo, ningún trabajo geológico importante se considerará completo mientras no esté acompañado por un reconocimiento aéreo adecuado". La enorme experiencia acumulada sobre el particular en todo el mundo, hasta la fecha, ha probado más que cumplidamente la exactitud de tal vaticinio.

Origen y desarrollo actual de la técnica fotogeológica

La palabra *fotogeológica*, término que ha conseguido prosperar en concurrencia con otros menos afortunados, hizo su aparición para designar esta técnica en 1901, aunque aplicada exclusivamente a la interpretación de fotografías terrestres. Con este vocablo se designó entonces un nuevo procedimiento de exploración geológica. "*// s'agissait, en effet*", dice Laussedat (1901), considerado

con justicia como "el padre de la fotografía", —*d'appliquer la Photographie à l'étude de la constitution physique et géologique des hautes montagnes*—, así como de "*la nature géologique des roches*". Se trataba, en efecto, de "*une serie de travaux sur l'importance desquels il convient d'insister, car ils sont les premiers de ce genre qui aient été entrepris, en ouvrant une voie féconde*".

Este primer trabajo fotogeológico, en todos sentidos memorable, fue realizado por el oficial francés del cuerpo de ingenieros Aimé Civiale, a sus particulares expensas, dedicándole, además de diez años íntegros de su vida, considerables sumas de dinero. Comenzó este ímprobo trabajo en 1858, con diversos ensayos en los Pirineos; concluidos los cuales, emprendió la exploración fotogeológica metódica de los Alpes suizos, franceses, italianos y austríacos, labor a la que dio cima, felizmente, en 1868. Sometió sus labores, año tras año, a la Academia de Ciencias, de París y de esta elevada institución obtuvo la aprobación para todos, luego de ser cuidadosamente examinados por los más competentes jueces (Academie des Sciences, 1866:873; 1882:1074). Al describir estos laboriosos trabajos cita A. Laussedat, por primera vez en la literatura científica, la palabra "fotogeología", refiriéndose a la recopilación que Civiale hizo de sus experiencias: "*il les a resumés -dice- dans un ouvrage où l'on peut découvrir un premier et large sillon dans le champ de la Photogéologie*" (Civiale, 1882).

Aimé Civiale, "*aussi passionné géologue que vaillant alpiniste et habile photographe*", utilizando cámaras fotográficas de grandes dimensiones, con fotografías de un formato de 30 x 40 cm, y manipulando el colodión húmedo y el papel encerado seco, con placas de vidrio excesivamente frágiles, logró producir 25 grandes panoramas, de 14 fotografías cada uno, así como 450 fotografías más, de detalle, todas ellas excelentes y

tomadas a grandes alturas, en su mayoría, no obstante las enormes dificultades que tuvo que vencer. La colección completa se encuentra depositada en la Academia de Ciencias, de París, y de ella seleccionó Civiale las catorce fotografías más notables para su obra escrita, que vio la luz en 1882. Verificó por sí mismo sus interpretaciones fotográficas, recogiendo al efecto innumerables muestras de rocas en los lugares que le iban pareciendo más convenientes. No obstante, Civiale no logró su propósito inicial, de levantar por medio de fotografías la "*Carte Générale des Alpes*"; empresa "*trop vaste pour qu'il put l'aborder à lui seul et avec ses propres ressources*".¹

En las décadas inmediatas siguientes, el progreso de la técnica fotogeológica se vio grandemente entorpecido, por la casi inexistencia de las otras dos técnicas que la condicionan y limitan, en estado rudimentario por aquellas fechas: la fotografía y la navegación aéreas.

Resulta evidente que, mientras la fotografía no avanzase, tampoco podría progresar la fotogeología. Sin embargo, a despecho de las ingentes dificultades que era necesario vencer, comenzó hacia esa misma época, a dar sus primeros pasos la fotografía aérea, practicada desde papalotes o cometas y globos, dos décadas después de haber inventado Daguerre la fotografía.

Parece ser que los ensayos desde globos precedieron a los que más tarde se efectuaron desde cometas. Así, después de una infructuosa tentativa llevada a cabo en 1856, pudo tomarse la primera fotografía aérea en 1858, en París, desde la barquilla del globo de Godard, anclado sobre el hipódromo antiguo de Saint Cloud. Esta fotografía "*à vol d'oiseau*", es oblicua alta y fue tomada por el fotógrafo Nadar, sobre la zona del arco de triunfo de La Estrella, con Montmartre en la lejanía, y la avenida del Bosque de Bolonia al pie (Laussedat, 1901).

En el mismo año de 1858, los señores King y Black hicieron ocho pruebas fotográficas aéreas, esta vez oblicuas bajas, sobre la ciudad de Boston, de las que obtuvieron dos buenas fotografías, manipulando el colodión húmedo, de lento proceso. Poco después, y también en los Estados Unidos, en 1862, desde un globo cautivo del Ejército Unionista se tomaron diversas fotografías aéreas de la región de Richmond, durante la Guerra de Secesión (Trott, 1957:122-130; Reed, 1914).

En Inglaterra, fue Woodbury quien tomó las primeras fotografías desde globos, en 1881, y por ese mismo tiempo comenzaron a verificarse similares ensayos en Alemania.

En 1886 se hicieron los primeros ensayos en Rusia, cuando Kovanko tomó diversas fotografías aéreas de las zonas fortificadas de Kronstadt y San Petersburgo, desde un globo, y de esta fecha data la creación de la sección de fotografía aérea en el servicio de aeronáutica del ejército ruso

A los rusos corresponde la primacía de haber realizado poco antes de estallar la Primera Guerra Mundial, un reconocimiento profundo en territorio extranjero, en el Bósforo (Turquía), utilizando aviones y tomando fotografías aéreas (Pestrekov, 1954:488-492).

Poco más o menos, en la misma época (1914) los alemanes verificaron un reconocimiento con fotografías aéreas sobre Francia, utilizando un "Zeppelin". El aterrizaje forzoso de esta aeronave en territorio francés y el hallazgo en la misma de una cámara fotográfica y de las vistas tomadas sobre Francia, dio lugar a un grave incidente internacional que amenazó con precipitar la contienda, que, poco después, tenía fatalmente que producirse (Whitmore, 1952).

La invención del aeroplano y, con ella, los rápidos progresos logrados por la navegación aérea, así como los no menos notables

desarrollos alcanzados por la fotografía, especialmente con el nacimiento de la nueva rama de la fotografía aérea, hicieron posible la ampliación del campo de aplicación del análisis geológico, de las fotografías terrestres a las fotografías aéreas, principalmente verticales, estableciéndose así, como más firmes bases, esta nueva técnica de la exploración.

Los primeros reconocimientos aéreos con fines geológicos se realizaron sin utilizar para nada las fotografías aéreas. Se trataba de exploraciones simplemente "visuales", ejecutadas con diversos fines y por distintos motivos desde aeroplanos.

Fue la Primera Guerra Mundial (1914-1918), la que ofreció incidentalmente la ocasión para que se verificasen estos ensayos iniciales de "aerogeología", desde aeroplanos. Ya desde los comienzos de la contienda -cuenta Lee (1922; 1926) que narra estos acontecimientos-

la geología de Inglaterra fue estudiada por los aviadores -británicos, naturalmente- con el fin de reconocer la superficie terrestre desde el aire, allí donde apareciera, a cuyo efecto llevaban un pequeño mapa geológico a la vista, y de esta forma podían determinar su posición. El oficial que desarrolló este método de observación dijo que, volando a través del Canal de la Mancha desde el continente, ascendía frecuentemente a grandes alturas para esquivar desfavorables condiciones de vuelo, encontrándose a menudo sobre las nubes, que obscurecían el suelo. Al descender a través de ellas sobre algún lugar de Inglaterra, lo primero que reconocía, por el aspecto general de la región, eran las formaciones geológicas sobre las que se encontraban volando. Por medio de su mapa geológico determinaba su posición aproximada. Al irse acercando a la su-

perficie lo suficientemente como para poder reconocer ciudades y rasgos más pequeños se orientaba en la dirección general de su destino, y ya podía reconocer así objetos menores, que le servían de guía más exacta.

Hacia el final de esta Primera Guerra Mundial, en cuanto tienen lugar los primeros ensayos verdaderos de *fotogeología aérea*, es decir, de interpretación de fotografías aéreas con fines estrictamente geológicos, los cuales fueron dirigidos por el geólogo estadounidense coronel Brooks (1920). El paso del reconocimiento aéreo a simple vista, al documental, se había dado así, ante la necesidad de retener el paisaje geológico que desaparecía rápidamente bajo el avión, para su estudio detenido, lo mismo que ya se hacía para otros muchos fines militares, por medio de las fotografías aéreas.

Los geólogos de las fuerzas estadounidenses expedicionarias en Francia -de los que el coronel Brooks era jefe- durante la Guerra Mundial, pudieron identificar las formaciones geológicas en las fotografías aéreas y, después de determinar las características de estas formaciones, donde las rocas pudieron ser examinadas, establecieron la identidad de las mismas formaciones en áreas situadas detrás de las líneas enemigas, con objeto de señalar las más favorables rutas de marcha, a lo largo de las cuales se habían encontrado firmes capas para las carreteras (Lee, 1922; 1926).

Por lo que se refiere a la primera interpretación fotogeológica efectuada con fines de exploración de yacimientos minerales, parece ser que fue la llevada a cabo en Mesopotamia, por los años 1918 y 1919, por Edwin Pascoe (1922), en búsqueda de petróleo.

Los resultados de la observación en los re-

conocimientos aéreos, por un lado, y los de la interpretación de las fotografías aéreas, por otro, fueron tan sorprendentes en las exploraciones geológicas que, a partir de este momento, se multiplican en todo el mundo. "La introducción de las fotografías aéreas en la exploración geológica petrolera y minera, hace quince años aproximadamente -decía Rea (1941:1796:1800)-, es el avance más significativo en esta ciencia desde el advenimiento de la plancheta". Este mismo autor, desconociendo u olvidando el hecho de que esta nueva técnica de exploración tenía ya su nombre específico desde los tiempos de Civiale y Laussedat, se propuso bautizarla nuevamente, a cuyo efecto en el mismo trabajo *"the writer suggests the term 'photogeology' for this little known branch of geology"*, que a continuación define *"as the geologic interpretation of aerial photographs"*. Esta definición de Rea ha tenido éxito rotundo y es la que ha quedado como original (AGI, 1957). En este trabajo se la sigue, ya que se refiere a la interpretación de las fotografías aéreas casi totalmente desconocidas en tiempos de Civiale y de Laussedat, por cuyo motivo tuvieron que aplicar el término solamente a la interpretación de las fotografías terrestres, hoy en desuso. Al menos, la definición de Rea tiene el mérito, además del haber logrado imponerse, el de hacer innecesario añadir el calificativo de aérea a la palabra fotogeología. A partir de la sugestión de Rea, tácitamente aceptada, se da por admitido también que la fotogeología, sin más, es aérea, es decir, se refiere exclusivamente a las fotografías aéreas. Quizás esta simplicidad sea la razón de su casi unánime aceptación en todo el mundo.

Necesidad de un método fotogeológico sistemático y de la formulación de sus principales reglas

La técnica de interpretación geológica de las fotografías aéreas exige para su aplicación la concurrencia de tres elementos, el más

importante de los cuales es el personal o humano, constituido por el intérprete fotogeológico o fotogeólogo, en el que son necesarias las capacidades fisiológica y psicológica. La técnica interpretativa, a la que corresponde como parte principal el proceso intelectual operativo o método, es el segundo de los elementos requeridos; y, finalmente, el instrumento o aparato utilizado, es decir, el estereoscopio, forma el tercer elemento, óptico, de la interpretación, en unión del restante material, constituido principalmente por las fotografías aéreas.

Esta técnica fotogeológica, no obstante haberse reconocido unánimemente su extraordinario valor en la exploración, y pese al hecho de existir ya una importantísima y voluminosa bibliografía, constituida por millares de trabajos esparcidos por libros, revistas y boletines de sociedades profesionales de todo el mundo, carece aún de un método propio, seguro y lógico, que sistematice el proceso intelectual interpretativo, creador de posibilidades, ya realizadas o en vías de ejecución alguna, pero en su mayoría todavía desconocidas y, en gran manera, imprevisibles, en el ámbito cada día más necesitado de eficaces innovaciones de la exploración geológica.

Esta falta de un método específicamente fotogeológico, hace lento y difícil el progreso en esta rama tan valiosa de la exploración geológica, por cuyo motivo resulta evidente la necesidad de intentar la formulación, cuando menos, de una serie de reglas, del modo más sencillo e inteligible, que sirvan de provisional cimiento sobre el que se construya, más adelante, y como resultado de la experiencia y del esfuerzo comunes, un método fotogeológico sistemático.

Método, etimológicamente, significa *camino*, es decir, *camino mental*, por el cual se llega al conocimiento de la verdad. En el caso de la fotogeología, no se trata de alcanzar, ni mucho menos, la verdad absoluta, y sí sólo

de lograr una verdad relativa, la verdad técnica fotogeológica o, dicho de otro modo, de hacerse de un instrumento más, de extraordinario valor práctico, con el que se prosiga la lucha para alcanzar el dominio de la Naturaleza, mediante la manipulación de la materia que constituye la superficie de nuestro planeta, a través de la interpretación geológica de las fotografías aéreas.

Sin embargo, el método fotogeológico comprende no sólo el hacer, es decir, la técnica estricta, sino también el saber, el conocer, al igual que ocurre en otras muchas ciencias y técnicas. Como este último elemento es el principal, del que depende el anterior, es a él al que se refieren estas líneas. En suma, se trata de "saber" qué camino hay que seguir, es decir, qué método debe utilizarse en la interpretación, para lograr en ella las máximas garantías de acierto, o sea, en la tarea de "hacer" geología utilizando solamente las fotografías aéreas.

Sólo existe un método científico general, el cual es aplicable a todas las ciencias y a todas las técnicas. "Aunque en apariencia complicado -dice Bertrand Russell- (1955) el método científico es notablemente sencillo. Consiste en observar los hechos que permitan al observador descubrir las leyes generales que gobiernan los hechos de la clase en cuestión". Esta observación se verifica mediante "el análisis y la síntesis, que son los dos procesos necesarios e inversos del método científico", según Abel Rey (Rey, s/f). Para Bertrand Russell (1955) "el verdadero espíritu científico es algo que comprende tanto la deducción como la inducción, la lógica y las matemáticas, tanto como la botánica y la geología".

De esta manera, el proceso interpretativo metódico comprende las dos consabidas etapas: 1ª, de *análisis inductivo*, mediante el cual se llega, por el examen fotogeológico de los rasgos particulares y complejos que se observan en las fotografías aéreas, a los fe-

nómenos simples y generales que los producen, y; 2ª, de *síntesis deductiva*, por virtud de la cual se pueden formular las conclusiones más generales a partir de los fenómenos más particulares.

Los factores analíticos en la identificación de las imágenes de las fotografías aéreas, bases fundamentales de las reglas de la interpretación fotogeológica

Las reglas que se enuncian más adelante, tienen carácter normativo, como todas, y en este caso, norman el pensamiento interpretativo al aplicarse a la fotogeología. En su formulación se ha tratado de reducir lo particular a lo general, lo compuesto a lo simple, y lo contingente a lo necesario, siguiendo a Lachelier en la determinación de las condiciones lógicas necesarias para el establecimiento de las leyes naturales.

Se derivan estas reglas de los diversos criterios que pueden utilizarse en el estudio general de las imágenes de las fotografías aéreas, lo que, en conjunto, constituyen un sistema, pero seleccionándolos previamente en atención a su posible interés geológico.

Los puntos de vista escogidos, para su empleo en el estudio particular de las imágenes en las fotografías aéreas por lo que respecta a los rasgos geológicos, han sido agrupados de acuerdo con sus características similares, de semejanza, coherencia o analogía, o de identidad de origen.

A estos criterios se los denomina factores analíticos clave para la identificación de las imágenes en las fotografías aéreas.

Los dos primeros grupos de factores analíticos clave corresponden a la *técnica general* de identificación de las citadas imágenes, es decir, son de aplicación para cualquier clase de identificación que se verifique, independiente del fin que con ella se persiga.

Los otros tres grupos de factores analíticos clave pertenecen a la *técnica particular* de identificación de las imágenes fotográficas aéreas con fines de interpretación fotogeológica, aunque también son aplicables a otras técnicas de identificación, con ella más o menos relacionadas, como son la fotogeografía, la fotohidrología, la fotoedafología y la fotointerpretación de la vegetación.

El primer grupo de aplicación general, está constituido por los factores derivados de características físicas de *las fotografías mismas*, tales como se observan en las copias de contacto o positivas de películas en blanco y negro como: 1. Tono de la fotografía. 2. Textura de la imagen fotográfica.

El segundo grupo, también de uso general, se halla compuesto por los factores derivados de características, no ya de las propias fotografías, sino *de los rasgos u objetos reales* cuyas imágenes aparecen en ellas, tales como: 3. Forma. 4. Tamaño. 5. Sombra. 6. Tipo de configuración. 7. Relaciones con objetos o rasgos asociados.

El tercer grupo, principalmente fotogeológico, lo integran los factores derivados de las formas de la topografía, según éstas se exhiben en el modelo tridimensional formado por la visión estereoscópica de los pares fotográficos aéreos, como: 8. Formas de la Topografía. 9. Emplazamiento. 10. Gradiente. 11. Discordancias. 12. Anomalías topográficas. 13. Ruptura de pendiente. 14. Alineaciones.

Forman el cuarto grupo, que recoge el máximo de esencia fotogeológico, los factores derivados de las características de los rasgos geomorfológicos de la superficie terrestre, reproducida por sus imágenes en las fotografías aéreas, como son: 15. Erosión. 16. Drenaje. 17. Anomalías geomorfológicas.

Y, finalmente, integran el quinto grupo, también fotogeológico, en gran parte los factores

derivados de las características de los suelos, de la vegetación natural, y de la agricultura, todos los cuales se correlacionan entre sí, como: 18. Suelos. 19. Cubierta vegetal natural. 20. Uso del suelo por el hombre.

Como puede observarse, ninguno de los puntos de vista que determinan estos veinte *factores analíticos clave*, o su convencional reunión en los cinco *grupos* reseñados anteriormente, es estrictamente geológico, puesto que se trata, precisamente y por el contrario, de interpretar la geología a través, no sólo de los diversos rasgos de la superficie terrestre reproducidos, con determinadas características en las fotografías aéreas, ya sean topográficas, geomorfológicas, sino de interpretarlos a través de las características de tono y textura de esas mismas fotografías, en cuanto éstas son reflejo de rasgos naturales, como los mencionados. Dicho de otra manera, se trata de descifrar la geología que tales rasgos físicos encierran y ocultan, y que se manifiesta con particulares expresiones fotográficas, mediante la aplicación de una serie de reglas obtenidas de las características, geológicamente interesantes y aprovechables como guía, de dichos rasgos morfológicos superficiales.

Para ello, se sigue aquí el mismo criterio que informó la definición de "fotogeología" de Krebs (citado por Helbling, 1949), al considerarla "como la interpretación geológica del *cuadro morfológico del terreno*, con ayuda de las fotografías aéreas". La topografía, la fisiografía y la geomorfología -términos que, por otra parte, conviene tener siempre en mente, por lo que respecta a su verdadero significado técnico- los suelos y la vegetación, son los elementos que constituyen, en efecto, "el cuadro morfológico del terreno", de la definición de Krebs.

De esta manera, los grupos primero y segundo de las reglas para la interpretación fotogeológica, que se describen a continuación, al igual que los correspondientes gru-

pos de factores analíticos clave para la identificación de las imágenes en dichas fotografías, y que dan lugar a aquéllas, son de aplicación a la *interpretación general* de las fotografías aéreas, cualquiera que sea el objeto de análisis, mientras que los grupos tercero, cuarto y quinto, de ambos sistemas, son de *aplicación particular* a la interpretación fotogeológica, aunque, claro es, también lo son, como ocurre con los factores analíticos clave para todas aquellas otras que tengan relación con la exploración y estudio de la corteza terrestre superficial y sus recursos naturales.

El número de *reglas* se ha reducido, con relación al de los factores analíticos clave, por la eliminación de los de menor importancia y la fusión de varios en la misma regla, cuando su naturaleza constitutiva así lo ha permitido, quedando reducidas las reglas a doce.

A semejanza de los puntos de vista o factores analíticos clave, de los cuales proceden, las reglas de la interpretación fotogeológica se reúnen en cinco grupos atendiendo a su común origen y a su similitud de características.

De los cinco grupos, como se ha expuesto, los dos primeros se relacionan con características físicas de las fotografías aéreas y con los rasgos u objetos reproducidos por sus imágenes y se aplican a la fotointerpretación en general; y los tres últimos se refieren a la topografía, geomorfología y correlación vegetación-suelo-roca, por lo que son de aplicación fotogeológica principalmente.

Grupo Primero: Reglas generales correspondientes a las *características físicas de las fotografías aéreas* mismas.

Regla 1ª, *del tono de la fotografía*.

Regla 2ª, *de la textura de la imagen fotográfica*.

Grupo Segundo: Reglas generales correspondientes a las características propias de los rasgos u objetos reproducidos por sus imágenes en las fotografías aéreas.

Regla 3^a, de la forma y tamaño de los objetos o rasgos.

Regla 4^a, de la sombra.

Regla 5^a, de las relaciones con objetos asociados.

Grupo Tercero: Reglas fotogeológicas que principalmente corresponden a las características de la topografía, tal como se muestran en el modelo especial o tridimensional formado por la observación estereoscópica de los pares de fotografías.

Regla 6^a, de las formas de la topografía.

Regla 7^a, del gradiente.

Regla 8^a, de la discordancia.

Regla 9^a, de las alineaciones.

Grupo Cuarto: Reglas fotogeológicas principalmente correspondientes a las características de la geomorfología, identificadas estereoscópicamente en los pares de fotografías aéreas.

Regla 10^a, de la erosión.

Regla 11^a, del drenaje.

Grupo Quinto: Regla fotogeológica correspondiente a las características de los suelos, de la cubierta vegetal natural, y de los cultivos, o agricultura, como las muestran por sus imágenes los pares estereoscópicos.

Regla 12^a, de la correlación vegetación-suelo-roca.

Aunque se sobreentiende, conviene aclarar que las precitadas reglas son de aplicación exclusiva, tal como se anuncian, a las fotografías aéreas verticales en blanco y negro, quedando por lo tanto eliminadas de esta regulación las fotografías aéreas oblicuas

altas y bajas, y la fotografías en color de todas clases.

Igualmente se da por supuesto que el estudio analítico interpretativo se hace utilizando pares estereoscópicos de fotografías con la necesaria sobreposición, para poder ser observados mediante el estereoscopio.

LAS DOCE PRINCIPALES REGLAS DE LA INTERPRETACIÓN FOTOGEOLOGICA

Observaciones generales sobre las reglas del Primer Grupo

Las reglas de aplicación general de este grupo son eminentemente fotográficas. Una fotografía en blanco y negro no es otra cosa que un conjunto de diversos tonos grises, que se confunden unos con otros, bien insensible y gradualmente, o con marcado contraste, de un modo brusco.

En realidad, el *tono de las fotografías* forma la base, por decirlo así, tanto de la particular interpretación fotogeológica, como de la identificación de las imágenes en un sentido general, cualquiera que sea el objetivo que se persiga. Todos los rasgos de la superficie terrestre reproducidos en las fotografías aéreas, lo son en tonos del gris y, a este respecto, hasta la *textura* depende, en mayor o menor grado, del tono, que constituye el denominador común de toda esta regulación.

El tono de las fotografías es, pues, la materia prima utilizable en la aplicación de estas reglas. Por ello, son de capital importancia los factores que afectan al tono, en la tarea de lograr éste correctamente en todos los casos, con objeto de que reproduzcan la realidad física del modo más exacto posible en las fotografías aéreas.

Esta fiel reproducción de las imágenes por medio de sus correspondientes tonos determina las posibilidades del análisis fotogeológico, las cuales serán tanto mayores cuan-

to más correctos sean los tonos, es decir, las expresiones tonales grises de los rasgos terrestres fotografiados.

Son éstos los motivos en atención a los cuales, el tono y la textura en la fotografía, figuran en los dos primeros lugares en la relación de las reglas.

PRIMERA REGLA: DEL TONO DE LA FOTOGRAFÍA

El *tono* de una fotografía aérea lo define Ray (1956), como la "medida de la cantidad relativa de luz reflejada que se registra realmente en una fotografía". Esta cantidad depende de varios factores, cuya importancia en fotogeología se acaba de precisar, y que según Brock (1952), son:

- a) el ángulo de incidencia de los rayos luminosos;
- b) la capacidad de reflexión de la superficie;
- c) el tipo de película y la clase de filtros usados;
- d) el tiempo de exposición a la luz solar y la abertura del objetivo de la cámara;
- e) el color del terreno o del objeto fotografiado;
- f) el proceso seguido en el laboratorio para el revelado de la película y la selección del papel más conveniente para la positiva.

A su vez, cada uno de estos factores depende de otros, que los limitan y modifican.

El tono de las fotografías aéreas en blanco y negro, como su nombre indica, se extiende desde el blanco al negro, pasando por todos los matices del gris, desde el más claro hasta el más oscuro; correspondiendo todos ellos a los diversos colores o tonos de colores naturales reales. A estos colores na-

turales se les denomina *tonos absolutos*, mientras que los matices del gris se conocen con la designación de *tonos relativos*.

A cada tono absoluto corresponde, pues, en las fotografías en blanco y negro, un tono relativo o tono gris, existiendo diversas escalas para la correlación de los tonos absolutos con los relativos. Cualquier experto puede hacer esta correlación automáticamente, de forma que, a través de los tonos grises que constituyen la fotografía aérea, contempla mentalmente -claro que dentro de cierto margen de relatividad-, los colores naturales verdaderos. Si el experto es fotogeólogo, distinguirá inmediatamente las arenas, por sus tonos claros, de las arcillas, que los producen oscuros, etcétera.

De esta correlación de los colores naturales con los diversos matices del gris, en las emulsiones en blanco y negro, se deduce la *Primera Regla* fundamental de la interpretación fotogeológica, que puede enunciarse, como sigue:

Los objetos coloreados de la naturaleza reflejan sus propios colores con diferente intensidad que depende, no sólo de la cantidad que del propio color absorben, sino de la condición material y textura de dichos objetos; tales colores, o tonos absolutos, se corresponden con los diversos matices del gris, o tonos relativos, en las fotografías aéreas en blanco y negro, por cuyo motivo pueden identificarse los colores naturales por su correlativo tono gris en que aparecen transformados en dichas fotografías y, de ahí, deducir la verdadera identidad de los rasgos geológicos o de otra índole, en cuanto éstos puedan serlo por su color.

SEGUNDA REGLA: DE SU TEXTURA DE LA IMAGEN FOTOGRÁFICA

La *textura* es otra de las características de las fotografías aéreas en blanco y negro, definiéndola Smith (1943), como "la com-

puesta apariencia presentada por un agregado de rasgos unidos, demasiado pequeños para ser individualmente distintos". Krynie y Judd (1957), consideran el efecto de la "textura" en las fotografías aéreas que, según ellos, se manifiesta "en la frecuencia de los cambios de tono en, o dentro de la imagen".

Para Eardley (1942) la textura es el reflejo de la vegetación y del tipo de suelo. Diferente, pues, será la textura de la imagen de *un* área desértica cubierta de arena, compuesta por una serie de infinitos rasgos iguales pequeñísimos y, por lo tanto, imposible de identificar aisladamente, de la textura de la imagen de una pradera, también formada por innumerables rasgos que no pueden individualizarse en sus elementos constitutivos.

La textura tiene un gran valor en el análisis fotogeológico por prestarse a la verificación de correlaciones fotogeológicas dentro de un área o región dada y, también, entre regiones o zonas distintas y, en ocasiones, distantes entre sí.

Por lo general, a cada roca corresponde un específico tipo de imagen con su textura propia en una zona determinada, la que depende en gran parte del clima, y algunas de ellas, como las calizas cavernosas, tan peculiares de las zonas tropicales, la tienen tan marcada, que son fáciles de localizar en cualquier parte, simplemente por su textura.

La textura de la imagen fotográfica depende también, de un modo directo, de la escala de la fotografía, de manera que, una textura fina o suave, en una fotografía aérea hecha a pequeña escala, se convertirá en una textura gruesa o áspera, en una fotografía hecha a gran escala. El mismo agregado de rasgos, por muy pequeños que éstos sean, cambiará de aspecto con la escala de la fotografía, transformando la textura, por lo

cual, ésta será sólo normalmente correlacionable utilizando fotografías aéreas de la misma escala o de escalas próximas, aunque excepcionalmente la "textura" es tan notoria, como ya se ha dicho, que admite correlaciones entre escalas muy diferentes.

Depende la textura igualmente, tanto del *grano* de la emulsión fotográfica, como del que tenga el papel utilizado para obtener la copia de contacto. A un grano más fino corresponderá mayor definición, naturalmente, y al empleo de emulsiones y papeles de grano fino y ultrafino, se tenderá en la fotografía aérea, por dicha causa. La diferencia del grano, como la de la escala, modificará la textura de la imagen fotográfica en una misma área.

De esta apariencia se desprende la *Segunda Regla*, que se enuncia como sigue:

Los rasgos de la superficie terrestre que, por su inmenso número y diminuto tamaño relativo, no pueden identificarse aisladamente en sus correspondientes imágenes fotográficas aéreas, como ocurre con las arenas en un desierto o con las hierbas en una pradera, ofrecen en su conjunto una apariencia típica en cada caso, que constituye lo que se denomina textura de la fotografía aérea, por la que pueden identificarse aquellos rasgos combinados que suelen ser geológicos o de otra naturaleza, imposibles de individualizar, cuando tienen una textura particular y definida.

Observaciones generales sobre las reglas del Segundo Grupo

Forma, tamaño y sombra, integran una unidad de reglas de aplicación general, indisolublemente unidas e interdependientes. La sombra, en efecto, depende de la forma y del tamaño, y el tamaño y la forma, a su vez, dependen muchas veces de la sombra, en las fotografías aéreas verticales.

Estas tres reglas, que se desprenden de características inherentes a los objetos, principalmente artificiales, que aparecen en las fotografías aéreas, se completan con la también regla general sobre las relaciones de estos elementos con los rasgos u objetos asociados a ellos en el área, o por semejanza o analogía con los que se encuentren fuera de ella, precisamente por razón de las circunstancias que pueden concurrir en tal asociación, de importancia definitiva, ocasionalmente, en la labor interpretativa.

Lo mismo que las reglas del primer grupo, éstas son también de principal aplicación, más que a la interpretación fotogeológica propiamente dicha, a la identificación de las imágenes en las fotografías aéreas, pero se incluyen aquí, por constituir un segundo punto de partida para el análisis fotogeológico, tanto para ayudarlo en su desarrollo, como para prepararlo en su labor previa de identificación general de todos los rasgos registrados en la fotografía aérea, independientemente del valor geológico que contengan.

TERCERA REGLA: DE LA FORMA Y TAMAÑO DE LOS OBJETOS O RASGOS

La forma horizontal de los objetos o rasgos es un factor de capital importancia en la identificación de los rasgos u objetos, no sólo en la tarea fotogeológica, sino en cualquier otra que tenga por cometido la identificación de los mismos. En la vida ordinaria, es por su forma como se identifican los objetos, comparándolos con otros que ya se conocen. No obstante, tratándose de objetos o rasgos naturales que se reproducen por sus imágenes en las fotografías aéreas, resulta imposible desde un principio aplicar tal regla, toda vez que la perspectiva con que se observan tales rasgos desde el aire es poco habitual. Previamente, se necesita conocer a los objetos o rasgos desde ese nuevo punto de vista, es decir, en esta proyección perspectiva.

Según Krynine y Judd (1957), no solamente "muchos objetos u obras que se deben a la mano del hombre tienen formas características", sino que, precisando un poco más, "las formas regulares o rectilíneas son características de muchos rasgos que se deben a la actividad humana, mientras que las formas irregulares, por otra parte, son más características de los rasgos naturales" (Smith, 1943). Para Abrams (1944): "los rasgos que se deben al hombre se encuentran limitados por líneas rectas o curvas, mientras que los rasgos naturales, tienen usualmente bordes irregulares".

En la naturaleza raramente se dan rasgos con expresión regular, predominando los desordenados e irregulares como ocurre con las redes hidrológicas, la orografía, o la misma geología. Por el contrario, la principal característica de los rasgos artificiales, es decir, los debidos a la actividad humana o cultural, es su regularidad, como sucede con el trazado de un ferrocarril, carretera o canal, o con los edificios de una población.

Muchos rasgos que tienen apariencia irregular, sin embargo, como ocurre con las parcelas de cultivo en el campo, las que frecuentemente se acomodan en sus límites a los accidentes topográficos del área, ya sea arroyos y quebradas, o cambios de pendiente, etc., corresponden a la categoría de rasgos artificiales. Para evitar confusiones, debe aplicarse también a esta clase de identificación el punto de vista analítico del "tono" pues éste cambia siempre en los cultivos en relación con la vegetación natural o con los terrenos desprovistos de ella.

Esta marcada diferencia origina la Tercera Regla, que se enuncia del siguiente modo:

Las imágenes con apariencia regular que muestran las fotografías aéreas verticales, corresponden a objetos que se deben a la actividad humana en su gran mayoría, mientras que las imágenes irregulares y desor-

denadas en apariencia pertenecen, por el contrario, a rasgos que, como los geológicos, son naturales. Por tanto, la forma horizontal de los objetos o rasgos, conjugada con su tamaño relativo, resolverá cualquier duda que pueda presentarse respecto a la identidad natural o artificial de los mismos.

CUARTA REGLA: DE LA SOMBRA

Como ya queda dicho, la sombra se encuentra estrechamente interrelacionada con la forma y el tamaño de los objetos o rasgos de la misma manera que éstos con aquélla, al menos por lo que se refiere a la identificación de su forma vertical o perfil, mediante la sombra que arrojan.

Resulta así que, con frecuencia, solamente por su sombra es identificable un objeto en las fotografías aéreas verticales, lo que ocurre, no solamente con objetos artificiales, como puentes, torres o chimeneas de fábricas, sino también con rasgos naturales, de carácter botánico unos, como los árboles de hoja caduca en invierno, cuando la pierden, o de naturaleza topográfica, geomorfológica, o geológica, entre otros. En el caso de la interpretación fotogeológica, reviste verdadera importancia la sombra, especialmente cuando se trata de rasgos u objetos tan pequeños que sólo su sombra los denota, y es bien sabido que, a veces, son estos modestos rasgos los que dan la clave de fenómenos geológicos muy notables.

El relieve terrestre es el factor que origina la casi totalidad de las sombras normales en las fotografías aéreas, de modo que bien puede decirse que no hay sombras allí donde no hay relieve, y viceversa. La sombra acusa el relieve de un modo muy conveniente para la observación estereoscópica, siempre y cuando no sea excesiva, pues en tal caso oscurece la zona donde se produce. Por tal motivo, deben hacerse las fotografías en momentos en que la sombra subraye solamente el relieve abrupto, indicándolo,

pero dejando libre de ellas toda la superficie posible. En cambio, si el terreno no es muy abrupto, conviene que las fotografías se tomen poco después de la salida o poco antes de la puesta del sol, con objeto de que las sombras sean máximas y, de este modo, destacar el escaso relieve terrestre y todos los rasgos geológicos que lo tengan. Sólo en casos especiales es conveniente la toma de fotografías aéreas cuando el sol esté muy alto sobre el horizonte.

Para el perfecto estudio de las sombras en las fotografías aéreas verticales, Abrams (1944) aconseja que éstas se coloquen de forma que la sombra caiga hacia el observador, por acentuarse así la percepción del relieve. La falta de cuidado en la correcta orientación de los pares de fotografías al ser estudiados estereoscópicamente, por lo que se refiere a la "sombra", puede producir efectos que induzcan a error en el observador, al obtener una visión invertida del relieve, cuando no se tiene mucha experiencia, tal y como ocurre con la visión pseudoscópica, al colocar las fotografías del par estereoscópico en orden invertido, aunque este fenómeno se produce siempre.

De la sombra se deriva la Cuarta Regla, que es como sigue:

Las sombras que aparecen normalmente en las fotografías aéreas, al revelar y acentuar el relieve de la superficie terrestre que las origina, ponen en evidencia, al contrastarlas, entre otros, los elementos geológicos susceptibles de causarlas, por lo que constituyen una guía inmejorable en la localización de rasgos estructurales y tectónicos.

QUINTA REGLA: DE LAS RELACIONES CON RASGOS U OBJETOS ASOCIADOS

Determinados rasgos geológicos carecen, en ocasiones, de caracteres propios, lo suficientemente relevantes como para permitir su inmediata identificación, independientemente

del tamaño relativo que tengan en las fotografías aéreas, en cuyo caso se hace preciso relacionarlos con los demás rasgos u objetos asociados que los circunden, de manera que, mediante la identificación directa de éstos, pueda lograrse la interpretación de aquellos. Tal ocurre, por ejemplo, con rocas extrusivas ocultas bajo aluviones y de dudosa identidad, cuya verdadera naturaleza la descubre el aparato volcánico de donde proceden, el cual puede estar o no, próximo.

Esta regla tiene relación con la evidencia indiciaria, mediante la cual se pueden identificar o interpretar determinados rasgos u objetos, sólo por indicios de su verdadera condición, relevada indirectamente por la identificación de otros rasgos u objetos vecinos, más o menos asociados o relacionados con ellos. De este modo, cualquier rasgo asociado puede dar la clave de un fenómeno distinto a su condición, como ocurre cuando el brusco cambio de curso de un río, evidencia el afallamiento que lo ha producido, no obstante ser imposible su identificación directa, en las fotografías aéreas como el terreno, por el reconocimiento superficial solamente, exigiendo otras labores para su comprobación.

El indicio constituye, por lo tanto, un elemento de identificación y de ayuda para la interpretación de un fenómeno geológico dado, en las fotografías aéreas, pero es de grado inferior a la evidencia indiciaria, y aún de menor valor que la evidencia. No obstante, la convergencia de indicios, puede constituir una evidencia, del mismo modo que la convergencia de evidencias, debe constituir una realidad verdadera.

Este procedimiento debe emplearse también, según Smith (1943), a los objetos difíciles de distinguir a causa de la pequeña escala de la fotografía aérea en relación con su tamaño relativo. Para el problema de identificar un objeto o rasgo, o para interpretarlo, en efecto, lo mismo da que la dificultad provenga de

su falta de caracteres propios, que de la imposibilidad de ser advertidos por el observador a causa de su reducido tamaño, por ser la fotografía aérea de una escala inconvenientemente pequeña.

Este fenómeno permite enunciar la Quinta Regla, de la siguiente manera:

Cuando un rasgo geológico o de naturaleza similar reproducido en una fotografía aérea, carezca de caracteres distintivos que permitan su identificación precisa, deberá ser relacionado con sus rasgos asociados en el área, de forma que, por la identificación directa de éstos, se consiga la identificación indirecta, o interpretación de aquél.

Observaciones generales sobre las reglas del Tercer Grupo

Las cuatro reglas principalmente fotogeológicas de este grupo se relacionan estrictamente con la topografía, es decir, corresponden "al conjunto de particularidades que presenta un terreno en su configuración superficial" (Vergara, 1926; Muñoz, 1945, y, Coluccio, 1947). Entre estas particularidades se encuentran, además de las formas de la topografía propiamente dichas, constitutivas del relieve terrestre, las discordancias existentes entre dichas formas, el gradiente o postura de las mismas en relación con un plano horizontal, y las alineaciones o rasgos lineales topográficos que presentan las fotografías aéreas.

El estudio del relieve del suelo-dice De Martonne (1951)-, es la parte más importante de la geografía física, pudiéndosele considerar inclusive como la base de toda geografía. Independientemente de los factores cósmicos, que determinan los trazos más generales del clima, con su consecuencia, son las desigualdades de la superficie terrestre la fuente de todos los contrastes, del clima como de la

vegetación, de la distribución de los hombres y de la actividad económica.

Se entiende aquí por geografía física "la descripción de los rasgos naturales de la superficie de la tierra", tal y como la define Fay (1920). Para De Martonne (1951), la topografía, "más que ciencia auxiliar de la geografía física, es la base misma del estudio del relieve".

De este modo, la topografía, base del estudio del relieve, es una de las partes más importantes de la geografía física, que estudia la superficie terrestre con carácter actual y descriptivo, "como una introducción a la geología" (*Diccionario de Geología y Ciencias Afines*, 1957). y es en este sentido como tiene la topografía vital importancia para la interpretación geológica o de otra índole análoga de las fotografías aéreas.

SEXTA REGLA: DE LAS FORMAS DE LA TOPOGRAFÍA

El hecho de que la *topografía* de un área dependa en gran medida de su naturaleza geológica, hace posible el que, por el análisis de aquella se llegue a conocer la estructura de ésta. Por ello, en cierta ocasión,² el filósofo español Miguel de Unamuno, comparó poéticamente la topografía en su relación con el globo terráqueo, con la piel, respecto al cuerpo humano, refiriéndose a la dramática topografía española, la del *Quijote*, y así es, en efecto, pues si bien es cierto que la topografía impide la visión directa de la estructura geológica subterránea, no lo es menos que al mismo tiempo la descubre por el relieve que produce, y al que aquella, como la piel al cuerpo, se acomoda.

La relación topográfica-geológica fue aplicada al campo de la exploración fotogeológica por Lee (1922), al manifestar que en el reconocimiento aéreo "muchas de las conclusiones de naturaleza geológica, se desprenden de la observación de sus relaciones

superficiales".

Insistió en ello Smith (1943) al decir que, "la topografía debe ser vista como el producto natural de procesos geológicos particulares, que operan sobre un conjunto dado de materiales geológicos, con una secuencia definida y en un medio climático específico", por lo que "la interpretación correcta de los rasgos topográficos y geográficos constituye la primera etapa en el uso de las fotografías aéreas".

En definitiva, el topográfico, o relieve del suelo, es uno de los ángulos desde los cuales se analizan geológicamente las fotografías aéreas, al lado del geomorfológico, o el de la vegetación, el edafológico, etcétera.

De esta relación, se deduce la *Sexta Regla*, que se enuncia así:

Las formas de la topografía, que cubren en su totalidad la superficie reproducida en las fotografías aéreas, se encuentran de tal modo condicionadas por la estructura geológica, total o parcialmente, que el estudio detenido de tales formas llevará al conocimiento de su naturaleza geológica o de índole similar, de la cual son aquellas directo y natural producto, teniendo en cuenta en este análisis el factor climático.

SÉPTIMA REGLA: DEL GRADIENTE

"En el análisis del relieve, la noción de *pendiente* juega un papel esencial. Toda porción de la superficie terrestre presenta una inclinación que es necesario valorar: no existe la pendiente nula" (Derruau, 1958). Así lo entiende igualmente, Lahee (1952) al afirmar que "puede decirse que la topografía se compone de superficies inclinadas. Hasta las llanuras presentan alguna inclinación, y aquellas superficies, que son esencialmente llanas muestran con frecuencia algo de inclinación en una dirección determinada". Esto hace que la distinción en los levantamientos

topográficos entre la *planimetría* y la *alimetría* o nivelación, sea puramente formal y aparente. "Muy raramente -dice De Martonne (1951)-, las líneas de la planimetría se trazan sobre una superficie plana. Sólo las riberas de los lagos y del mar caen dentro de tal caso. Las vías de comunicación y los ríos tienen una cierta pendiente. El mapa representa una proyección sobre una superficie horizontal convencional".

Esta inclinación o gradiente superficial es muy importante en fotogeología, pues denota el grado de cohesión de las rocas que afloran y, por lo tanto, es posible determinar su naturaleza con tal dato.

De este modo las rocas menos consolidadas, a base de arenas y de arcillas, y las margas, tendrán poco gradiente topográfico y tenderán hacia la posición horizontal, obedeciendo los imperativos de la pesantez -según la cual todo cuerpo situado en la superficie de la Tierra es atraído por ella y tiene la tendencia a dirigirse a su centro, cuando cesan las causas que lo impiden- mientras que las más consolidadas y las cristalizadas, como las rocas calcáreas y las ígneas intrusivas, respectivamente, adoptan agudo gradiente y tenderán hacia la verticalidad.

Por ello, la *Séptima Regla* se formula de este modo:

El gradiente o postura de las rocas en la superficie terrestre, denota su grado de consolidación, o de cohesión de los elementos que las componen, de modo que las menos consolidadas soportarán menos gradiente y tenderán hacia la posición horizontal, mientras que las más consolidadas o las cristalizadas, tendrán mayor gradiente y tenderán hacia la verticalidad, de cuya propiedad se deriva la facultad de poderlas identificar de un modo general, por la simple observación estereoscópica de su gradiente, fácilmente determinable en las fotografías aéreas.

OCTAVA REGLA: DE LA DISCORDANCIA

Es normal y corriente que en topografía se presenten *discordancias*, es decir, contrastes entre determinados rasgos topográficos que tienen expresiones distintas, a causa de su diferente naturaleza o por efecto de fenómenos diversos, tales como las que se producen entre depósitos aluviales recientes, y las rocas más o menos consolidadas que aquellos ocultan en mayor o menor grado.

Entre estas discordancias o anomalías topográficas se encuentran las denominadas rupturas o cambios de pendiente, que según Derruau (1958) consisten "en las bruscas variaciones de la inclinación a lo largo de una vertiente o de un *thalweg*, y que, para Desjardins y Hower (1939), constituyen "el más valioso punto de vista para dibujar un estrato, con el estereoscopio, en las fotografías aéreas".

Los sistemas de pendiente regulares, que constituyen el caso normal en topografía, se encuentran frecuentemente interrumpidos, cortados, por diversos accidentes, que forman estas rupturas o rompimientos de pendiente -"*rupture de pente*" de los autores franceses, y "*break or change in slope*" para los de habla inglesa-, de los cuales son los más notables los debidos a influencias tectónicas.

Las *rupturas de pendiente* que se deben al tectonismo son, en efecto, las más marcadas, no solamente por la amplitud del desnivel que causan, sino por la continuidad sin solución alguna, a lo largo de distancias considerables.

Las rupturas de pendiente que se deben a la estructura geológica son motivadas por la diferente naturaleza de los estratos, en los que se excavan los valles.

Otras rupturas no se deben a la estructura geológica, encontrándose entre ellas las que

reconocen por causa los diferentes modos de erosión, y de intemperización, como la descomposición química y la desintegración física.

Entre los modos diferentes de erosión se encuentran el de la erosión fluvial superficial y el de la erosión subterránea; el de la erosión glacial, la eólica, la marina, etcétera.

La descomposición química varía según la diferente naturaleza de las rocas, más o menos permeables y más o menos heterogéneas, "lo que explica en gran parte las facies topográficas debidas a la geología" (Martonne, 1951).

La desintegración física se produce simultáneamente o después de la descomposición química, siendo suficiente la pesantez para que puedan precipitarse los gruesos granos por las pendientes más inclinadas.

Las citadas discordancias dan lugar a la *Octava Regla*, que se enuncia así:

Las discordancias topográficas, entre las que se encuentran las rupturas o cambios de pendiente, originadas por la diversa naturaleza de los elementos que constituyen la superficie terrestre, así como por los fenómenos de diversa naturaleza que en ella tienen lugar, originan marcados contrastes, cuyo examen estereoscópico permite descubrir muchos fenómenos geológicos o similares en las fotografías aéreas, tanto estratigráficos, como estructurales y tectónicos

NOVENA REGLA: DE LAS ALINEACIONES

Las fotografías aéreas muestran, con gran frecuencia, notables rasgos lineales de mayor o menor longitud, escasos y aislados, o abundantes y formando sistemas paralelos, rectangulares, o poligonales en general. A este fenómeno lo ha denominado Lahee (1952), *alineación*, considerándolo efecto "de la estructura geológica, la clase particular de

roca o la topografía", estimando que "es de real importancia para desenmarañar la estructura e historia geológica de una región".

Estas "alineaciones" de las fotografías aéreas, muestran todos los rasgos tectónicos y estructurales que tienen tal expresión en la superficie terrestre, como las diaclasas, otras fracturas, y toda clase de fallas. Ray (1956) dice a este respecto, que "las alineaciones son particularmente importantes como expresión de fallas, pero también pueden reflejar una gran variedad de otros fenómenos geológicos". Entre ellos se cuentan los de estratificación, y diversas clases de intrusiones, como lo más notable.

Smith (1943), señala entre otros, los siguientes puntos de vista para reconocer las fallas en las fotografías aéreas, sobre la base de las "alineaciones":

Las rupturas topográficas rectilíneas en forma de corte de estructuras plegadas.

Los cursos fluviales rectilíneos y las configuraciones colineales de los cursos de agua.

Las colina o cerros alineados, formando crestas, sin relación alguna con capas individuales resistentes; tales crestas pueden representar zonas consolidadas a lo largo de fallas.

Las formas rectilíneas de escarpas, riscos o zonas de vegetación, especialmente si atraviesan líneas de avenamiento o de pendiente topográfica; cuando los elementos rectilíneos de formas topográficas se cortan formando configuraciones angulares, tal fenómeno debe atribuirse a la presencia de sistemas de fallas que se intersectan.

Los límites rectilíneos que separan áreas, con diferente coloración, de suelo o de tipos de vegetación, contrastadas entre sí.

Estas alineaciones o rasgos rectilíneos solamente aparentes, generan la *Novena Regla*, que puede expresarse de la manera siguiente:

Las imágenes que en las fotografías aéreas tienen una definida expresión lineal, de apariencia más o menos recta, aisladas, o agrupadas formando sistemas, corresponden a rasgos tectónicos, estructurales y estratigráficos del área reproducida, pudiéndose localizar y correlacionar de esta manera, mucho más fácilmente y de forma más completa que en el propio terreno, en la mayoría de los casos.

Observaciones generales sobre las reglas del Cuarto Grupo

Si desde los tiempos de Charles Lyell se admite como una verdad incontrovertible el que "el presente es la clave del pasado", con razón afirma Von Engel (1949), "que la competencia en la interpretación geomorfológica es fundamental para el adiestramiento geológico", ya que "la geomorfología es el presente geológico, que debe ser dominado antes de que el pasado geológico pueda ser comprendido".

La *geomorfología*, según P. Macar (1946), "estudia las formas del terreno, esforzándose por descubrir su génesis y evolución". Se ocupa, por lo tanto, de la litosfera externa constituyendo una de las principales ramas de la "fisiografía", al lado de la hidrología, que estudia la hidrosfera, y de la meteorología, que tiene por objeto de su investigación, la atmósfera.

Fisiografía y geomorfología no son, pues, voces sinónimas, ya que la primera constituye el todo, y la segunda sólo una parte. Por el contrario, sí son de análogo significado los términos fisiografía y geografía física, pues ambos designan la ciencia -al estilo de los autores angloamericanos, y de los europeos, respectivamente-, "que estu-

dia la litosfera con carácter actual, como mera descripción de la superficie e introducción a la geología". Invertiendo los términos, puede ser considerada "como el último capítulo de la geología, y su campo de acción la zona de contacto del aire y el agua con la tierra" (*Diccionario de Geología y Ciencias Afines*).

Conviene aclarar que aunque la geomorfología se refiere concretamente al estudio sistemático de las formas terrestres y a su interpretación, como registro de la historia geológica, también amplía su campo de acción a la hidrosfera, aunque sin llegar a los límites de la oceanografía, y a la atmósfera, pero sin la especialización que es propia de la meteorología y de la climatología.

Las reglas de este grupo, son, por lo tanto, fotogeológicas principalmente y, en consecuencia, de importancia capital en esta clase de interpretaciones. Aunque la erosión y el drenaje se encuentran estrechamente enlazados, constituyen factores analíticos distintos en la interpretación de las imágenes de las fotografías aéreas, por lo cual dan lugar a dos reglas separadas.

DÉCIMA REGLA: DE LA EROSIÓN

La *erosión* se rige, en su función de modelar las rocas que constituyen la parte externa o superficial de la corteza terrestre, por una serie de factores *físicos* y *químicos*, que varían para cada tipo de roca y de clima, encontrándose entre los primeros la cohesión, homogeneidad y tamaño de los granos, y entre los segundos, la permeabilidad y la solubilidad.

A esto se debe el que cada tipo de roca tenga un modo característico de erosionarse. "Como los diferentes agentes erosivos -dice Thornbury (1954)- actúan sobre la superficie terrestre, se produce en ella una secuencia de formas que tienen características distintas en las sucesivas etapas de su desarrollo.

Estas características distintas depende, ciertamente, del estado de desarrollo de la forma terrestre, principio que W. M. Davis insistió en repetir, y cuya consecuencia ha sido el concepto de ciclo geomorfológico que puede definirse "como los diversos cambios que en la configuración superficial sufre una masa terrestre, con los procesos erosivos que actúan sobre ella". La idea básica es que, partiendo de una superficie inicial de tipo dado, bajo la que subyace un determinado tipo de estructura geológica, la operación de los procesos geomorfológicos sobre dicha masa, da como resultado una *secuencia*, más bien que un desarrollo casual o fortuito, de las formas terrestres". Por otra parte, el clima influye de un modo decisivo en los procesos erosivos, imprimiéndoles su particular sello.

Conocidos los diversos modos de erosión en las diferentes rocas, resulta factible su identificación directa o indirecta, por la expresión erosiva que exhiben en las fotografías aéreas. A este respecto, Eardley (1942) dice que "en cualquier área de distribución heterogénea de diversos tipos de rocas, éstas responden a los agentes de la intemperización de distintos modos, y las características de dicha intemperización sirven para que puedan usarse en el trazado de los contactos". Hartman e Isaacs (1958:1083-1093) igualmente afirman que este factor analítico sirve "para determinar los contactos geológicos, el espesor de los estratos e, indirectamente, los tipos de rocas mismos" en las fotografías aéreas.

Smith (1943), otorga extraordinaria importancia en fotogeología, a este factor clave, manifestando que "ninguna forma erosiva es demasiado pequeña para carecer de significación, cuando se escruta cuidadosamente con el estereoscopio".

Así, la *Décima Regla*, de naturaleza fisiográfica y geomorfológica, dice:

Los agentes erosivos atacan a las rocas de un modo selectivo o diferencial, según los materiales de que están constituidas, originándose formas de erosión características de sus diversos grupos y del estado de desarrollo del ciclo de erosión correspondiente, para cada tipo de clima; este fenómeno permite la identificación de las unidades petrográficas más importantes, mediante el estudio de las fotografías aéreas, por medio del particular modo con que responden a la acción erosiva.

UNDÉCIMA REGLA: DEL DRENAJE

El *drenaje* o *avenamiento*, es decir, "la manera en que un área dispone del agua que escurre sobre ella" (Hartman e Isaacs, 1958), se encuentra, como la erosión, estrechamente unido a la naturaleza de las rocas cuya superficie lava.

Según sea ésta, la estructura geológica, y el clima, así será el tipo de drenaje, que Thornbury (1954) define como "el plan o diseño particular que los cursos fluviales individuales forman colectivamente". Según este mismo autor, la configuración del drenaje refleja: la pendiente inicial, las desigualdades en la dureza de las rocas, los controles estructurales, el diastrofismo reciente y la historia geológica y geomorfológica reciente de la cuenta hidrológica.

La configuración formada por el sistema de corrientes fluviales en un área dada, es de extrema importancia para Smith (1943), "como guía del carácter general de la topografía y como clave de la estructura geológica e historia geomorfológica".

Krynine y Judd (1957) estiman que "las configuraciones del drenaje son características de un suelo o roca dados, o de un complejo de varios materiales, y un cambio en el tipo de suelo o de roca generalmente es acompañado por un cambio en la configuración del drenaje".

Así, pues, cada modelo o diseño del drenaje corresponderá a determinada clase de roca, dentro de un clima específico, y reflejará la estructura geológica oculta y su expresión superficial topográfica.

De Blieux (1958:1083-1093) ha demostrado la importancia que tiene el drenaje en la localización de domos salinos por medio de fotografías aéreas, así como Tiratsoo (1951), siguiendo "desviaciones en las líneas regionales del drenaje", es decir, localizando anomalías regionales del drenaje.

De este modo, la *Undécima Regla*, también basada en la geomorfología se formula así:

Los diversos tipos de drenaje, al revelar la pendiente del terreno y la estructura geológica que lo controla, así como la expresión superficial de la tectónica y la desigual resistencia de las rocas, ponen de manifiesto, al ser identificado el sistema a que el drenaje pertenece, todos los elementos geológicos y geomorfológicos del terreno.

Observaciones generales sobre la regla del Quinto Grupo

La única regla de este grupo, de carácter fotogeológico y última que se formula, se basa en la fusión de tres factores analíticos clave, es decir, en los constituidos por las características de los suelos, de la cubierta vegetal natural, y de la cubierta vegetal artificial, agricultura, o uso del suelo por el hombre.

Las relaciones entre la vegetación y la geología son de antiguo conocidas por los geólogos quienes saben perfectamente que, dentro de ciertos límites, las rocas impermeables pueden soportar exigua vegetación, mientras que las rocas porosas la soportan abundante y desarrollada, lo que les permite identificar, en ocasiones, las principales clases de rocas a primera vista, sobre las fotografías aéreas, por la simple considera-

ción de la densidad de la vegetación que las cubre.

En general, las variaciones de la densidad de la vegetación en un área dada dependen, especialmente, de la capacidad que las rocas tengan para retener la humedad, y de las posibilidades de los suelos para alimentar a las plantas, todo lo cual depende, a su vez, y en definitiva, de la composición y textura de la roca madre.

De ese modo, la vegetación constituye una guía fotogeológica segura, por estar íntimamente relacionada con la geología a través de los suelos que la soportan, producto de la desintegración de las rocas que subyacen a los mismos.

Esta estrecha interdependencia permite hacer la *correlación vegetación-suelo-roca*, que constituye la esencia de esta regla final, condicionada por su parte, por el clima y los factores geológicos locales.

DUODÉCIMA REGLA: CORRELACIÓN VEGETACIÓN-SUELO-ROCA

La *correlación vegetación-suelo-roca* ya había sido advertida, entre otros, y por lo que se refiere a las fotografías aéreas, por Bourne (1928), cuando dijo que "localmente, dentro de una zona climática, el tipo de bosque natural tiende a modificarse con los cambios en las formaciones geológicas y en las condiciones de los suelos".

En efecto, el clima el que, en unión de las condiciones topográficas, "determina la influencia física o química, de afinidad o aversión de una hierba o árbol por una roca o suelo" (Hartman e Isaacs, 1958). Hart (1948) se manifestó en igual sentido al aseverar que "hay una definida correlación de los tipos de vegetación, con el contenido de humedad de los suelos y las condiciones de las rocas".

Posiblemente, sea esta correlación uno de

los puntos de vista analíticos más utilizados en fotogeología, por la posibilidad de encontrar vegetación en cualquier parte de la superficie terrestre, en mayor o menor grado y, por poder deducirse conclusiones de tipo geológico, incluso de su absoluta falta.

A veces, llega a ser tan decisiva esta guía, que permite la localización de estructuras geológicas, con frecuencia difíciles de identificar superficialmente de otra manera, como ocurre con los domos salinos. A este respecto, uno de los más ilustres fotogeólogos, Frank A. Melton (citado por Levings, 1944: 29), manifiesta que "el uso del aeroplano en los períodos iniciales del desarrollo petrolero en el área de la Costa del Golfo de México, le habría permitido localizar fácilmente más del noventa por ciento de todos los domos salinos de dicha región".

La vegetación señala, igualmente, en la mayoría de los casos, las trazas de las fallas, y de las demás clases de fracturas, y lo mismo ocurre con los estratos aflorados de diversas rocas, cada uno de los cuales puede distinguirse de los demás, por la vegetación característica que mantiene, como consecuencia del diferente grado de humedad de cada uno, y de su distinta constitución física y química.

Desjardins (1950:2284-2317), considerado "el color del suelo y el tipo de vegetación, como evidencias fotográficas, no topográficas, de afloramientos de unidades estratigráficas". De la misma opinión es Levings (1944), para quien "el efecto de las rocas sobre la composición de suelos residuales formados por ellas, puede ser reconocido desde el aire o en las fotografías aéreas, no solamente por las variaciones de color del suelo, sino más frecuentemente aún, por el carácter y distribución de la vegetación que el suelo soporta".

Determina el alcance de estas correlaciones Spurr (1948), al opinar que "la correlación

detallada de los suelos y los rasgos geológicos con la calidad de los emplazamientos forestales debe ser establecida regionalmente".

Gracias, pues, a esta "correlación", pueden determinarse los contactos geológicos entre la formaciones por su distinta vegetación o por el contraste entre zonas con cubierta vegetal y otras desprovistas de ella, lo que se efectúa por el simple análisis de sus expresiones fotográficas. Igualmente pueden identificarse la mayor parte de los rasgos estructurales y tectónicos que se reflejan en la superficie terrestre.

En conclusión, según Bourne (1928), "parece razonable deducir que, la distribución de los tipos y subtipos de la vegetación, considerados en relación con el color del suelo y la configuración del sistema de drenaje, indican: a) cambios de las formaciones geológicas; b) la estratificación de ciertas formaciones, c) el afloramiento de determinados estratos, y d) la dirección general del rumbo en las rocas estratificadas".

Así pues, la *Duodécima Regla*, se enuncia de este modo:

Los diferentes tipos de vegetación que cubren los rasgos terrestres superficiales, por depender de las rocas subyacentes cuya descomposición de origen a los suelos que los soportan, permiten el registro en las fotografías aéreas, de los contactos que delimitan tales rocas, así como la localización de la mayoría de los rasgos estructurales y tectónicos reflejados en dicha superficie, por el análisis de sus grupos y rasgos vegetales respectivos, gracias a la correlación vegetación-suelo-roca, modificada por los factores climáticos y topográficos correspondientes.

CONCLUSIONES

Las doce reglas fundamentales de la inter-

prefación fotogeológica anteriormente enunciadas no agotan, ni mucho menos, la posibilidad de formular otras, bien considerando factores analíticos clave distintos a los que han servido de base para esta regulación, o bien interpretando los aquí utilizados, de distinta manera.

El número de reglas puede elevarse, cuando menos, a veinte, es decir, al de los factores analíticos reseñados en un principio, siempre y cuando se intente el planteamiento del problema de dotar a la fotointerpretación en general y a la fotogeología en particular de un método, del mismo modo que se ha propuesto en este trabajo: mediante la enunciación de normas metódicas particulares, reguladoras de la fotointerpretación, basada en el sistema general de identificación de las imágenes en las fotografías aéreas.

De la misma manera que se ha aplicado a la fotogeología, considerada como técnica especial de la interpretación de las fotografías aéreas, puede fundamentarse en el sistema de factores analíticos clave, la regulación de la interpretación geográfica, forestal, de suelos, la regulación de la interpretación geográfica, forestal, de suelos, hidrología, agrícola, urbanística, arqueológica, o de ingeniería diversa, para no citar nada más que algunas de las más interesantes interpretaciones civiles de que pueden ser objeto las fotografías aéreas.

Por otra parte y, como ya oportunamente se dijo, el intento de sistematización de la técnica fotogeológica que aquí se hace, sólo alcanza el elemento *cognoscitivo* de la misma, o sea, al método o camino que es necesario seguir para obtener el esperado fruto de la interpretación; falta, por lo tanto, proceder a la regulación eficaz y completa del otro elemento que integra la interpretación, constituido por la aplicación práctica de la técnica, entendiendo este término en su sentido más estricto, o de hacer, tarea igualmente muy importante, que abarque proble-

mas del mayor interés, como el de las correlaciones fotogeológicas, que constituye todavía un obstáculo infranqueado en la tarea de fundir correctamente las interpretaciones ejecutadas por separado. Una vez en posesión del secreto de saber hacer, metódica, sistemáticamente, se habrá conseguido transponer lo peor de la jornada.

Por lo tanto, las reglas aquí esbozadas pueden servir de punto de partida en la empresa de sistematizar la técnica de fotointerpretación general y fotogeológica en particular y, así consideradas, constituyen un intento para establecer sobre firmes bases la futura doctrina científica de la fotogeología, como una rama particular de la fotointerpretación.

El progreso científico se logra mediante sucesivos tanteos, impulsados por la preocupación de aproximarse a la certeza hasta donde sea posible, y ante el temor de incurrir en el error, siempre probable. Por lo que respecta a las ciencias geológicas, que no son exactas, esta orientación ha sido la principal fuente de sus éxitos y la esencia de su filosofía.

Y, esto es lo que se ha intentado realizar aquí: un tanteo para lograr un adelanto en el perfeccionamiento de la técnica de interpretar las fotografías aéreas con fines geológicos específicos, dotándola, para dicho objeto, con un esquema de reglas metódicas de la interpretación.

Porque no hay que olvidar que, en esta categoría de empresas, todos los esfuerzos que en tal sentido se hagan, resultan, al fin y a la postre, siempre fecundos, aunque como obra humana estén sujetos a posteriores correcciones, corregibles a su vez, andando el tiempo; que tal es el eterno destino de lo que el gran pensador Arnold Toynbee (1955:444) ha denominado "técnica efímera", calificativo que bien puede aplicarse, por extensión, a todo nuestro fugaz conocimiento científico.

NOTAS

¹ Todas las transcripciones en francés y entrecorridas, incluso ésta, proceden de la obra citada de Laussedat.

² En conferencia pronunciada en el anfiteatro de la Facultad de Medicina de la Universidad de Madrid, aproximadamente en 1933.

REFERENCIAS

- 📖 Abrams, T. (1944), *Essentials of aerial surveying and photo interpretation*, McGraw Hill Book Company Inc., New York.
- 📖 Academie des Sciences (1866), *Comptes Rendus*, T. LXII, Paris, p. 873.
- 📖 Academie des Sciences (1882), *Comptes Rendus*, T. XCIX, Paris, p. 1074.
- 📖 American Geological Institute (AGI; 1957), *Glossary of Geology and Related Sciences*, Second printing, August, Washington.
- 📖 Blioux, C. de (1958), "Photogeology in Gulf Coast Exploration", *Bulletin*, American Association of Petroleum Geologists, vol. 42, no. 5, May, Tulsa, Oklahoma, pp. 1083-1093.
- 📖 Bourne, R. (1928), "Aerial survey in relation to the economic development of the new countries with special reference to an investigation carried out in Northern Rhodesia", *Oxford Forestry Memoirs*, 9, Oxford University Press, New York.
- 📖 Brock, G. C. (1952), *Physical Aspects of air Photography*, Longmans, Green and Co., Edinburgh.
- 📖 Brooks, A. H. (1920), *The use of Geology on the Western Front*, U. S. Geological Survey Professional Paper 128-D, Washington, pp. 85-124.
- 📖 Civiale, A. (1882), *Les Alpes au point de vue de la Géographie et de la Géologie*, J. Rothschild, Paris.
- 📖 Colucio, F. (1947), *Diccionario Geológico-Minero*, El Ateneo, Buenos Aires.
- 📖 Colwell, R. N. (1952), "Photographic interpretation for civil purposes", *Manual of Photogrammetry*, (Chapter XII), Second Edition, American Society of Photogrammetry, George Banta Publishing Co., Menasha, Wisconsin, Washington, pp. 535-602.
- 📖 Committee on Nomenclature of the American Society of Photogrammetry (1952), "Definitions of Terms Used in Photogrammetry", *Manual of Photogrammetry*, (Chapter XIX), Second Edition, American Society of Photogrammetry, George Banta Publishing Co., Menasha, Wisconsin, Washington, pp. 805-842.
- 📖 Dallmus, K. F. (1942), "Use of aerial photographs in reconnaissance geologic mapping", Informede distribucion limitada de la Standard Oil Development Company, Production Research and Engineering Department, *Bulletin*, no. 30, Appendix F, October, Geological Clearing House, New York.
- 📖 Derrau, M. (1958), *Précis de Géomorphologie*, Deuxième Edition, Masson et Cie., Editeurs, Paris.
- 📖 Desjardins, L y S. G. Hower(1939), *Geologic, topographic, and structural mapping from aerial photographs*, American Petroleum Institute, Finding and Producing Oil.
- 📖 Desjardins, L (1950), "Techniques in photogeology", *Bulletin*, American Association of Petroleum Geologists, vol. 34, no. 12, December, Tulsa, Oklahoma, pp. 2284-2317.
- 📖 *Diccionario de Geología y Ciencias Afines* (1957), dirigido por Novo y F. Chicarro (pedro de), T. I, Geografía Física, Ed. Labor, S. A., Madrid.
- 📖 Dohm, C. F. (1942), "The use of aerial photographs and mosaics by the Dominican Seaboard Oil Company in the Dominican Republic, Hispaniola", Informe de distribucion limitada de la Standard Oil Development Company, Production Research and Engineering Department, *Bulletin*, no. 30, Appendix E, October, Geological Clearing House, New York.
- 📖 Eardley, A. J. (1942), *Aerial photographs: their use and interpretation*, Harper & Brothers Publishers, New York.

- Engeln, O. D. von (1949), *Geomorphology*, The Macmillan Company, New York.
- Fay, A. H. (1920), "Glosary of the mining and mineral industry", *U. S. Bureau of Mines Bulletin*, 95.
- Guerra Peña, F. (1950), "Introducción a la fotogeología", *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, vol. II, núm. 1, México, pp. 55-70.
- Hart, C. A. (1948), *Air photography applied to surveying*, Longmans, Green and Co., London.
- Hartman, R. R. y K. N. Isaacs (1958), "System in Photogeology", *Bulletin*, American Association of Petroleum Geologists, vol. 42, no. 5, May, Tulsa, Oklahoma, pp. 1083-1093.
- Helbling, R. (1949), *Studies in Photogeology*, (Preliminary Geological Mapping with Survey Photographs), Art. Institut Orell Fussli A., C, Zurich.
- Krynine, D. P. y W. R. Judd (1957), *Principles of Engineering Geology and Geotechnics*, (Chapter 7, maps and airphotos: "Airphoto Interpretation"), McGraw Hill Book Company, Inc., New York.
- Lahee, F. H. (1952), *Field Geology*, McGraw-Hill Co., Inc., New York.
- Laussedat, A. (1901), *Recherches sur les instruments, les méthodes et le dessin topographiques*, tome II, Première Partir: "Iconométrie et Métrophotographie", Gauthier-Villars, Paris.
- Lee, W. T. (1922), *The face of the earth as seen from the air*, American Geographical Society Special Publication, no. 4, New York.
- Lee, W. T. (1926), *Stories in Stone*, D. Van Nostrand Company, New York.
- Levings, W. S. (1944), "Aerogeology in mineral exploration", *Quarterly of the Colorado School of Mines*, vol. 39, no. 4, October, Golden, Colorado.
- Link, W. K. (1942), "Notes on the use of aerial photographs", Informe de distribución limitada de la Standard Oil Development Company, Production Research and Engineering Department, Bulletin, no. 30, Appendix D, October, Geological Clearing House, New York.
- Macar, P. (1946), *Principles de Géomorphologie Normale (Etude des formes du terrain des régions à climat humide)*, H. Vaillant-Carmanne, S. a., Liège.
- Martonne, E. de (1951), *Traité de Géographie Physique*, (Tome Second, Le Relief du Sol; Chapitre I, "Topographie et Géologie"), Armand Colin, Paris (1925).
- Melton, F. A. (1944), cita de Levings, W. S. como comunicación personal en "Aerogeology in mineral exploration", *Quarterly of the Colorado School of Mines*, vol. 39, no. 4, October, Golden, Colorado, p. 29.
- Muñoz Lumbier, M. (1945), "Vocabulario fisiográfico, geológico y de voces relacionadas con la geografía", Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Publicación Núm. 75, México.
- Pascoe, E. (1922), *India Geological Survey Memoirs*, vol. 48.
- Pestrekov, Dr. K. (1954), "Notes on Russian photogrammetric optics", *Photogrammetric Engineering*, vol. XX, no. 3, June, pp. 488-492.
- Ray, R. G. (1956), "Photogeologic procedures in geologic interpretation and mapping", (Procedures and Studies in Photogeology), *Geological Survey Bulletin*, no. 1043 A, United States Government Printing Office, Washington.
- Rea, H. C. (1941), "Photogeology", *Bulletin*, American Association of Petroleum Geologists, vol. XXV, no. 9, September, pp. 1796-1800.
- Reed, H. A. (1914), "Topographic", *Drawing and sketching including applications of photography*, John Wiley & Sons, New York.
- Rey, A. (s/f), *Lógica*, ed. en castellano, Besteiro, J. (trad.), Ediciones La Lectura, Madrid.
- Smith, H. T. U. (1943), *Aerial Photographs and Their Applications*, Appleton-Century Crofts, inc., New York.

- Spurr, S. H. (1948), *Aerial Photographs in Forestry*, The Ronald Press Company, New York.
- Tiratsoo, E. N. (1951), *Petroleum Geology* (Chapter 12, Surface Oil Finding: "Air Survey"), Methuen and Co., Ltd., London.
- Toynbee, A. (1955), *A Study of History*, ed. En castellano, T. IV, Segunda parte, Emecé Editores, S. A., Buenos Aires, p. 444.
- Thornbury, W. D. (1954), *Principles of Geomorphology (21 Tools of the geomorphologists: "Clues to Airphoto Interpretation")*, John Wiley & Sons, New York.
- Trott, T. (1957), "Development of aerial camera stabilization and its effect on photogrammetry and photo interpretation", *Photogrammetric Engineering*, vol. XXIII, no. 1, March, pp. 122-130.
- Vergara Martin, G. M. (1926), *Diccionario de voces y términos geográficos*, Librería y Casa Editorial Hernando, S. A., Madrid.
- Whitmore, G. D. (1952), "The development of photogrammetry", *Manual of Photogrammetry*, Chapter I, American Society of Photogrammetry, George Bantan Publishing Co., Menasha, Wisconsin, Washington.
- Woolnough, W. G. (1933), "Notes on the technique of aerial photographic survey for geological purposes in Australia", *Proceedings*, World Petroleum Congress, vol. I, London.