



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

FOTOGEOLOGÍA

ING. FELIPE GUERRA PEÑA.

FELIPE GUERRA PEÑA

FOTOGEOLOGIA

UNAM-DGB
DONACION



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

México 1980



FACULTAD DE INGENIERIA

87-A

Primera edición: 1980

**DR © 1980, Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria. México 20, D.F.**

DIRECCION GENERAL DE PUBLICACIONES

Impreso y hecho en México

ISBN 968-58-2975-6

G- 610409

INTRODUCCION

El presente texto de fotogeología tiene por principal, aunque no único objetivo, presentar ante el estudioso de la geología, un cuadro general de esta importantísima técnica científica, de tan incalculable valor en la trascendental tarea de explorar la parte superficial de la corteza terrestre y, consecuentemente, de los recursos naturales no renovables que en ella se encuentran, como son los mineros de todas clases, incluyendo el petróleo. (Laurence Brundall, 1948 y 1950).

De todos los factores que integran la fotogeología, son precisamente los más importantes, los más olvidados, como ocurre con el factor metodológico y el humano, y el concluir con este abandono, constituye otro de los propósitos de estas líneas, a cuyo efecto se dedica a la sistemática fotogeológica la mayor parte de su contenido y, aunque en menor grado, también se hace énfasis especial en la importancia que tiene en estas tareas el factor humano, a través de las especiales condiciones síquicas que debe reunir el fotogeólogo. Así, pues, aunque el título de este trabajo es el de "Fotogeología", simplemente, bien pudiera calificársele mejor, de "Fotogeología Sistemática".

Respecto a los otros dos factores de la fotogeología, constituídos por el documental y el instrumental, solo se trata de ellos, por ser accesorios en esta técnica científica, en la medida necesaria, para que el estudiante tenga noticia de ellos de un modo suficiente y concreto.

Efectivamente, la esencia de la fotogeología esta constituida por el fotogeólogo mismo y el método que éste emplee en su trabajo, no obstante lo cual son los factores menos tratados por los que escriben sobre estos temas, mientras que se dedica amplio espacio a la descripción de fotografías aéreas y de instrumentos, lo que sería muy acertado si se tratase de fotogrametría y no de fotointerpretación. Téngase en cuenta que, tanto las fotografías aéreas, como los instrumentos para interpretarlas, son solo medios materiales, mientras que el fotogeólogo y el método que emplee, constituyen medios intelectuales y, además, fines de la fotointerpretación geológica, en la que remata todo el sistema.

De este modo, se trata también de llenar el vacío existente, no sólo en la literatura fotogeológica en español, sino en cualquier otro idioma, que siempre han tratado superficialmente, los temas del factor humano y de la metodología, como ya queda dicho.

Las opiniones técnicas que aquí se exponen, son fruto de más de cuarenta años de la práctica continua de la fotogeología., tanto en compañías petroleras, como la Atlantic Refining, de Filadelfia, y la Dominican Seaboard Oil, filial de la Standard Oil of New Jersey, como en entidades estatales o paraestatales mexicanas, tales como Petróleos Mexicanos, Consejo de Recursos Minerales, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, o bien con Gobiernos como el de la República Dominicana, pero sobre todo, con el trabajo permanente durante treinta años, en la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de México, como titular de la cátedra de Fotogeología, y en la de Filosofía, Colegio de Geografía, de la misma Universidad, como titular de la de Fotogeografía.

Para el autor constituye una gran satisfacción el haber podido contribuir, si bien sea modestamente, al redactar este texto de fotogeología, a facilitar las tareas de estudiantes que, como los de la carrera de Ingeniero geólogo, tendrán que hacer intenso uso de la técnica fotogeológica en el transcurso de su vida profesional. A ellos y a las autoridades académicas de la Facultad de Ingeniería dedico pues, cordialmente, estas líneas.

DEFINICION DE FOTOGEOLOGIA

La fotogeología ha sido definida por Richard G. Ray (1960), como "el uso de las fotografías aéreas para obtener información geológica". Tan precisas y concretas como éstas, son las definiciones, por ejemplo de Víctor C. Miller (1961), que la considera como "el uso de las fotografías aéreas en geología", o la de J. A. E. Allum (1966), que la define como "el uso de las fotografías aéreas en las ciencias geológicas".

Con objeto de abarcar más ampliamente el sujeto definido, se pueden ampliar tales definiciones, como lo hace E. Wing Morales (1967), en el sentido de que "la fotogeología es la ciencia y arte de identificar e interpretar con fines geológicos, los datos y rasgos de la superficie terrestre, tal y como éstos se muestran por sus imágenes en las fotografías aéreas, mediante el análisis estereoscópico de dichos documentos".

Un examen somero de esta última definición, permite advertir que en ella quedan comprendidos muchos de los elementos fundamentales de la fotogeología, como son: a) su doble carácter de ciencia y de arte;

b) la diferenciación entre identificación e interpretación, y; c) la necesidad del estudio estereoscópico.

Resulta evidente y, por ello, obligado, considerar a la fotogeología, como ciencia y como arte, a la vez. Es ciencia porque su contenido es científico, como lo es el de la geología, de la cual constituye una rama y, en su virtud, el fotogeólogo debe, no solo saber usar los instrumentos científicos necesarios, sino emplear la metodología científica correspondiente, completada con los razonamientos lógicos capaces de facilitar una o más respuestas a los diversos problemas que se le presenten en su trabajo. Y, al mismo tiempo es arte la fotogeología, porque la interpretación es eminentemente personal o subjetiva, condición esencial de la labor artística.

Más adelante y, en capítulos separados, oportunamente se tratará de la diferencia entre identificación e interpretación, así como de los estereoscopios, para terminar el comentario sobre la definición que se analiza.

CLASES DE FOTOGEOLOGIA

La fotogeología puede ser "cualitativa" y "cuantitativa". Es cualitativa "la parte de la fotogeología que tiene por objeto la identificación e interpretación cualitativa de los rasgos geológicos que muestran las fotografías aéreas, como por ejemplo, la localización de los afloramientos de las rocas y de sus contactos, o el registro de la red hidrográfica, mediante el empleo casi exclusivo del estereoscopio" (E. Wing Morales, 1967). En esta definición, se alude a la red hidrográfica muy acertadamente, dada la enorme significación geológica que ésta tiene.

El mismo autor, considera a la fotogeología cuantitativa, como a "la parte de la fotogeología que tiene por objeto la identificación e interpretación cuantitativa de los rasgos geológicos que muestran las fotografías aéreas, como por ejemplo, el buzamiento de los estratos, expresado en grados, o la densidad de la red hidrográfica, expresada por la longitud total en kilómetros, de las corrientes fluviales dentro de una área, dividida por el área en kilómetros cuadrados, mediante el uso de diversos instrumentos, que van desde el curvímetro y el planímetro, hasta el valuator de echados y de pendientes, o el analizador de fracturas, etc".

* "Fotogeólogo" es, según V. C. Miller (1961), "el geólogo que está adiestrado y tiene experiencia en el uso de las fotografías aéreas y, especialmente, en su estudio estereoscópico".

Para V. C. Miller (1961), la fotogeología cualitativa es "la que trata del estudio, reconocimiento e interpretación de los rasgos geológicos", mientras que la cuantitativa es "la que incluye técnicas fotogramétricas avanzadas que, mediante ciertos instrumentos, permiten el transporte preciso de los datos fotogeológicos a los mapas-base, así como registrar detalladamente, las líneas de contorno estructurales y confeccionar mapas de isopacas en áreas de estratos bien expuestos"*.

Puede decirse que la fotogeología cuantitativa no está aún ni en período experimental, pues algunos instrumentos más o menos sencillos, como el estereomicrometro o el medidor de pendientes, no llenan las necesidades que su empleo en fotogeología, de un modo satisfactorio, debían cubrir. Hasta ahora, cuando se requieren medidas de precisión de naturaleza geológica, se recurre a la fotogrametría, lo que escapa, como puede verse, a la fotogeología cuantitativa.

Hasta las estimaciones cuantitativas efectuadas por el fotogeólogo, como ocurre con el cálculo del buzamiento de los estratos a base de fotografías aéreas solamente, por su alto grado de subjetividad, lo que hace que tales observaciones varíen extraordinariamente de un intérprete a otro, bien puede afirmarse que, en realidad, son apreciaciones de carácter cualitativo también, es decir, que se producen dentro del campo de la fotogeología cualitativa, pues ciertamente tales echados no se miden, sino que se interpretan.

Por otra parte, recurrir a la fotogrametría, para la medición de valores estrictamente geológicos, priva a la fotogeología de algunas de sus principales utilidades, como son la rapidez de la interpretación y la ausencia casi general de instrumentos en sus operaciones técnicas.

Resulta así, que la fotogeología cuantitativa, existe como una categoría de la fotogeología, al lado de la cualitativa, pero de muy poca utilidad en la interpretación fotogeológica propiamente dicha.

Por lo que respecta a este texto, siempre será de fotogeología cualitativa de lo que se trate, inclusive el cálculo del buzamiento, que se considera como una interpretación, más o menos aproximada a su valor real.

*La anteriormente transcrita definición de fotogeología cuantitativa, se presta a confusiones y, por ello, es necesario aclarar aquí, que la fotogrametría a la que en ella se hace referencia, tiene muy poco que ver con la fotogeología, técnicas científicas que solo tienen en común el que sus trabajos respectivos se basan y desarrollan sobre fotografías aéreas. La fotogrametría es esencialmente instrumental y la calidad de su labor depende de la calidad del instrumento—según sea de primero, segundo o tercer orden— mientras que la fotogeología, incluso la cuantitativa, es subjetiva o personal, dependiendo la calidad de su trabajo de la del intérprete, en este caso, del fotogeólogo. La fotogrametría es una rama de la topografía, y la fotogeología, como su nombre indica, lo es de la geología.

PRINCIPALES VENTAJAS DEL EMPLEO DE LA FOTOGEOLOGIA EN LA EXPLORACION GEOLOGICA

El uso de la Fotogeología en los reconocimientos geológicos, conlleva las siguientes principales ventajas, muchas de las cuales serían imposibles de conseguir sin su empleo. (F. Guerra Peña, 1950).

Estas ventajas son numerosísimas, destacándose la importancia de unas sobre otras, según la índole del análisis, los alcances y propósitos que se persigan, pero pueden mencionarse como principales y, en términos generales, las siguientes:

1a.—*Reducir la duración del trabajo* que debe realizarse sobre la superficie terrestre, a un mínimo, lo que no se puede conseguir por ningún otro medio. Esta reducción puede evaluarse en un 90% del tiempo que se necesitaría para ejecutar el mismo trabajo mediante procedimientos convencionales, cuando las condiciones de trabajo sean buenas; si no lo son, o mejor dicho, por pésimas que sean estas circunstancias, siempre se podrá reducir ese tiempo, desde un 50 a un 75%.

Teniendo en cuenta el que casi todos los trabajos de exploración geológica son urgentes, por uno u otro motivo —considérese la prisa que siempre acompaña a los reconocimientos petroleros y también a los mineros— sobre todo cuando se trata de análisis de carácter previo o preliminar, como es el fotogeológico, por depender de su resultado en muchos casos, la realización o suspensión definitiva del proyecto de que forme parte, se puede comprender la importancia de tan gran ventaja.

2a.—*Reducir el costo de los trabajos*, en relación con el de los sistemas convencionales, en la misma o parecida proporción que se reduce la duración de los mismos, es decir, entre un 50 o 75%, ejecutados en malas condiciones; a un 90% o más, en las buenas. Esta ventaja de carácter económico tiene una importancia capital, hasta el punto de que ella es la que determina, de un modo decisivo, el que un trabajo cuidadosamente planeado se realice o no, ya que el costo es precisamente el factor que limita las posibilidades de ejecución de un gran número de proyectos.

Pues suele ocurrir, que se planea un trabajo con atención y detalle, pero que al llegarse al capítulo de presupuesto, tenga que abandonarse, bien por su alto costo o porque éste, sin ser excesivamente elevado, resulte inasequible en relación con los medios económicos de que se disponga. La posibilidad cierta de reducir todos los costos, en cualquier caso, se obtiene mediante la fotogeología.

3a.—*Eliminar el factor tiempo en su aspecto climático*, es decir, facilita el trabajo de exploración geológica sin consideración alguna del clima local o regional, por lo cual puede ejecutarse en cualquier estación

del año. Esta ventaja es de utilidad suma, sobre todo cuando se trate de extensos países desarrollados o no, pero principalmente en estos últimos, todos ellos con climas durísimos que impiden el trabajo geológico de campo o lo hacen muy difícil durante grandes periodos de tiempo al año, como los que se localizan en el norte del Canadá y de la Unión Soviética, en Amazonia y en el Asia monzónica, o bien en Africa o en Australia, continentes y regiones inmensos, en los cuales, el hielo y la nieve, la arena, el bosque o el pantano, constituyen muchas veces dificultades insuperables.

4a.—*Permitir la eliminación total y absoluta de ciertos insectos* que, además de transmitir el paludismo, la fiebre amarilla y otras muchas enfermedades, dificultan desesperadamente el trabajo geológico de campo con sus constantes picaduras, impidiendo o haciendo muy difícil el tan necesario descanso nocturno. Como el mosquito es el animal más cosmopolita del mundo, raro es el lugar donde no abunde, fuera de las zonas bien urbanizadas, que son precisamente las que quedan excluidas del trabajo geológico. También desaparece, consecuentemente, el riesgo de ser mordido por alguna de las muchas alimañas que son compañeras permanentes del geólogo de campo, como vampiros, escorpiones y serpientes venenosas.

El valor de esta ventaja solo puede ser comprendido exactamente por aquéllos que hayan tenido que sufrir tales calamidades o las estén padeciendo.

5a.—*Permitir la formación de un "registro" permanente, aerofototeca o aerotelefototeca*, de todas las regiones de nuestro globo que interesen al investigador, tanto para el análisis práctico o económico, como para el académico y pedagógico, al cual se puede acudir fácilmente y tantas veces como fuere necesario, para comparar imágenes, revisar o discutir interpretaciones, todo ello con economía máxima de esfuerzo y sin tener que trasladarse al campo, salvo en ocasiones excepcionales.

6a.—*Reducir gran cantidad de trabajo topográfico convencional* y, si la necesidad lo exigiese, suprimirlo totalmente. Aunque las imágenes aéreas o espaciales no constituyen por sí mismas verdaderos mapas, las imágenes teledetectadas reúnen todas las condiciones necesarias para servir como documentos cartográficos en la fotointerpretación, en general, y en la fotogeología en particular, tanto más cuanto que, si la índole de la labor lo requiere, pueden confeccionarse con ellas mapas exactos, por medio de procedimientos fotogramétricos.

7a.—*Obtener una calidad insuperable en el trabajo, ya que se basa en la visión exacta de la superficie terrestre*, en la que se localizan todos los rasgos y fenómenos que interesan a la fotogeología, lográndose así un panorama conjunto de todos ellos, que permite llegar a conclusiones de-

finitivas, eliminándose toda la información que carezca de valor para el estudio que se haga, pero aprovechando, al mismo tiempo, hasta el más mínimo dato que pueda interesar.

8a.—*Realizar un trabajo completo*, puesto que en los documentos teledetectados aparece toda la superficie terrestre, sin que escape la menor porción de ella, ni ningún rasgo, eliminándose así la selección mediante símbolos, que se hace de los mismos en los mapas convencionales, simbolización que no refleja ni puede reflejar su naturaleza verdadera, ni incluye siempre a los de mayor interés en un momento dado, ya que la selección, de cualquier modo que se haga, tiene un sello subjetivo inevitable.

9a.—*Permitir la percepción de rasgos y fenómenos de la superficie terrestre que no podrían observarse de ningún otro modo*. Esta es, sin duda alguna, la más importante ventaja que la interpretación fotogeológica de las imágenes aéreas y espaciales ofrece al investigador. En efecto, la fotografía aérea cuando hizo su aparición en el mundo técnico y científico, aproximadamente a principios del presente siglo, vino a permitir observar, o mejor dicho a descubrir, rasgos geológicos, principalmente de carácter tectónico, que no hubieran podido ser detectados por los anteriores medios, de visión terrestre en su totalidad.

Esta gran ventaja, por sí sola justificativa del empleo de la fotointerpretación en todas las investigaciones científicas que tengan como campo la superficie terrestre, se vió extraordinariamente aumentada con la fotografía aérea a color y, más recientemente con la teledetección espacial de las imágenes terrestres por diversos medios, puesto que sus relativamente pequeñísimas escalas, para esta clase de documentos cartográficos, permiten percibir completos rasgos geológicos de gran tamaño, que hubiera sido imposible abarcar ni aún con fotografías aéreas, en cierto modo consideradas ya, hoy en día, como convencionales.

Este inmenso beneficio que al geólogo, como a cualquier otro investigador científico, proporciona la teleinterpretación de imágenes espaciales, hace que sea obligatorio su empleo en todos los casos e, inclusive, a que se vuelvan a revisar todos los trabajos ya efectuados, puesto que con su empleo se puede llegar a resultados distintos y hasta contradictorios, en relación con los conseguidos antes, en un estudio dado.

10a.—*Hacer cómodamente accesibles las áreas más abruptas e intran-sitables* de la superficie terrestre, ya se trate de zonas elevadas y montañosas o de regiones bajas y pantanosas.

A este respecto, cabe aclarar que, contrariamente a lo que lógicamente pudiera suponerse, precisamente es en estas circunstancias donde la teleinterpretación geológica rinde sus máximos beneficios. Porque se suele afirmar que en tales áreas pantanosas o totalmente cubiertas de espesa

vegetación, rasgos que van desde los culturales constituídos por sendas y veredas, hasta naturales formados por afloramiento de rocas, quedan totalmente oscurecidos u ocultos por la cubierta vegetal, generalmente boscosa, o por cuerpos de agua pantanosos, siendo así que ocurre completamente lo contrario, es decir, que es en estas zonas, donde la exploración convencional terrestre queda frenada y sometida a un esfuerzo agotador, con rendimiento mínimo, por las dificultades naturales apuntadas, es donde las imágenes teledetectadas son insustituibles, ya que a su atento análisis no podrá escapar ninguno de los rasgos de interés que puedan existir en la naturaleza, totalmente imposibles de detectar o en una gran parte, cuando se trate de localizarlos en el terreno mismo.

11a.—*Contener una inmensa riqueza de detalle*, como no se podría conseguir de ninguna otra manera, porque todo lo que existe en la superficie terrestre es directamente registrado y reflejado en la imagen teledetectada, no importa su tamaño, con la sola condición de que, para ello, se empleen las escalas adecuadas, las cuales deben seleccionarse de acuerdo con la índole del trabajo que se realice. Esta ventaja coincide con el conocido proverbio chino según el cual “una imagen dice más que mil palabras”. Por eso, cuando se trata de miles y miles de imágenes, y no de una sola, como ocurre con las fotografías aéreas o los documentos espaciales, la riqueza de la información es realmente inmensa.

Para lograr tal resultado y no perder la riqueza de detalle, el problema de la selección de escalas es fundamental, pues no se podrá emplear la misma para análisis generales o regionales, de semi-detalle o de detalle, ni tampoco las mismas escalas para reconocer grandes estructuras geológicas o pequeños detalles mineros.

12a.—*Resolución inmediata de los problema técnicos* que sobre teleinterpretación se presenten en todo análisis relacionado con la superficie terrestre. Basta acudir a la fototeca o telefototeca, para discutir o revisar cualquier fenómeno ya considerado, con objeto de volverlo a analizar, o investigar otro nuevo registrado con posterioridad, sin necesidad de trasladarse al campo, para discutir el problema “in situ”, pues con las fotografías aéreas y las imágenes espaciales, en realidad se tiene la geología, no en el campo, sino en el gabinete de fotointerpretación.

13a.—*Interpretar exactamente la realidad geológica*, al igual que la topográfica, la edafológica, la forestal, la hidrográfica, etc., de un modo mucho más veraz, cómodo y rápido, que en los mapas convencionales. La interpretación se hace directamente, analizando los objetos y fenómenos reales por sus imágenes exactas, con eliminación de toda clase de símbolos. Lo que se observa es lo que “es” en la realidad, sin necesidad de cifrarla en símbolos convenidos, sujetos a errores y a equivocaciones por exceso o defecto de los mismos.

14a.—*Observar directa y completamente las interrelaciones existentes entre diversas ciencias que tienen su asiento en la superficie terrestre, como las que ligan a la topografía con la geomorfología y la geología, o a las rocas, con los suelos y la vegetación. Solamente gracias a estas imágenes totales y detalladas de los rasgos naturales, se hace posible desentrañar acertadamente estas relaciones íntimas de unas ciencias con otras y percibir su oculto sentido, deduciendo importantísimas conclusiones.*

15a.—*Permitir la redacción de programas para el trabajo de campo, con absoluto conocimiento de causa, de manera precisa y con eliminación de los errores en que se incurriría verificándolos de cualquier otro modo. En los documentos teledetectados, principalmente en los fotográficos, no solo se puede planear la logística de una exploración, desde la localización de los más convenientes lugares de residencia y de comunicación terrestre, hasta señalar precisamente los rasgos que han de visitarse y aquéllos en que han de tomarse muestras de rocas, etc. Igualmente pueden localizarse las más pequeñas sendas y las fuentes o manantiales de agua potable, sobre todo en áreas desconocidas, extremo éste tan importante en los reconocimientos geológicos.*

16a.—*Posibilidad de observar en relieve o tercera dimensión por medio de la estereoscopia, la totalidad de los rasgos de la superficie terrestre, ya sean habitaciones humanas y vías de comunicación, como rasgos naturales, tales como los afloramientos de rocas, trazos tectónicos, rumbo y echado de los estratos sedimentarios, etc., los que en su gran mayoría, precisamente pueden observarse gracias a la estereoscopia, lo que resulta particularmente cierto por lo que respecta al buzamiento de las rocas, sin necesidad de ir al campo.*

Como las lentes del estereoscopio exageran el relieve o tercera dimensión de los objetos, se puede resolver cualquier duda que pueda presentarse sobre el volumen de los de pequeño tamaño, que aumentan su dimensión vertical, así como sobre la inclinación o gradiente de determinados rasgos, como pendientes topográficas o geológicas. (Véase el Apéndice A).

17a.—*Finalmente, eliminar la particular disposición de los habitantes del área analizada, con relación a la hostilidad que puedan ofrecer a determinado trabajo, lo mismo si se realiza en el propio país o en el extranjero, ventaja que puede ser de extraordinario valor en un momento dado.*

De hecho, los beneficios que proporcionan la fotografía aérea y, muy especialmente, las imágenes espaciales, en este aspecto de eliminar la buena o mala voluntad de los habitantes del área registrada en dichos documentos, se practica sistemáticamente por las principales grandes potencias mundiales, que disponen de millares de satélites "espías", que registran continuamente todos los rasgos de la superficie de nuestro pla-

neta que pueden interesarles, principalmente los de carácter militar y los relacionados con el descubrimiento de nuevos recursos naturales, como el petróleo o el uranio. La importancia de esta ventaja resulta así bien evidente y no necesita ser subrayada.

Podrían describirse muchas más ventajas, **pero con las indicadas queda bien aclarada la extraordinaria importancia de las fotografías aéreas y de las imágenes espaciales en el campo de la geología.**

BREVE RESEÑA HISTORICA DE LA FOTOGEOLOGIA

La palabra "fotogeología, término que ha conseguido prosperar en concurrencia con otros menos afortunados, hizo su aparición para designar esta técnica en el año 1901, aunque aplicada exclusivamente a la interpretación de fotografías terrestres. Con este vocablo se designó entonces un nuevo procedimiento de exploración geológica. "Il s'agissait, en effet —dice A. Laussedat (1901), considerado con justicia como el "padre de la fotogrametría"— d'appliquer la Photographie a 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 série de travaux sur l'importance desquels il convient d'insister, car ils sont les premiers de ce genre qui aient été enterpris, en ouvrant une voie féconde".

Este primer trabajo fotogeológico, en todos sentidos memorable, fué 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 de los Alpes suizos, franceses, italianos y austracos, labor a la que dió 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. 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 résumés —dice— dans un ouvrage où l'on peut découvrir un premier et large sillon dans le champs de la Photogéologie".

Aimé Civiale, "aussi passionné géologue que vaillant alpiniste et habile photographe", utilizando cámaras fotográficas de grandes dimensiones, 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 ellas seleccionó Civiale las catorce fotografías más notables para su obra escrita, que vió la luz en 1882. (A. Civiale, 1882).

En las décadas inmediatas siguientes, el progreso de la fotogeología se vió 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 aérea.

Resultaba evidente que, mientras la fotografía no avanzase, tampoco podría progresar la fotogeología. Sin embargo, a pesar 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 (F. Guerra Peña, 1974), 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, en París, pudo tomarse la primera fotografía aérea sobre dicha ciudad, en 1858, desde la barquilla del globo de Godard, anclado sobre el antiguo hipódromo de Saint Cloud. Esta fotografía "a vol d'oiseau", es oblícua 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.

En el mismo año de 1858, los señores King y Black, hicieron ocho pruebas fotográficas aéreas, esta vez, oblícuas bajas, sobre la ciudad de Boston. Poco después y, también en los Estados Unidos, en 1862, se tomaron diversas fotografías aéreas, en la región de Richmond, durante la guerra de Secesión, desde un globo del ejército unionista.

En Inglaterra, fué Woodbury, quien tomó las primeras fotografías desde globos, en 1881 y, por ese mismo tiempo, se llevaron a efecto los primeros ensayos en Alemania.

A los rusos, corresponde a su vez, la primacía de haber obtenido las primeras fotografías aéreas sobre territorio extranjero, cosa tan común en la actualidad, cuando volaron profundamente en territorio turco, poco antes de estallar la primera Guerra Mundial.

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 foto-

grafías aéreas, principalmente verticales, estableciéndose así, sobre más firmes bases, esta nueva técnica de la exploración geológica.

Los primeros reconocimientos aéreos con fines geológicos se realizaron sin utilizar para nada las fotografías aéreas. Se trataba de exploraciones simplemente "visuales", llevadas a cabo desde aeroplanos, "aerogeológicas", por cuyo motivo se llamó también "aerogeología" a la "fotogeología", en sus primeros tiempos.

Fué la primera Guerra Mundial (1914-1918), la que ofreció incidentalmente la ocasión, para que se verificasen ensayos iniciales de "aerogeología", desde aeroplanos, principalmente en Inglaterra, donde los aviadores se dedicaron a estudiar la geología de su país desde el aire, para localizar determinados rasgo como puntos de referencia en sus vuelos de regreso del continente, utilizando a dicho efecto, los correspondientes mapas geológicos.

Hacia el final de esta gran guerra primera, es cuando tienen lugar los primeros verdaderos ensayos de fotogeología aérea, dirigidos por el coronel y geólogo norteamericano A. H. Brooks (1920).

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

Los resultados de la observación en los reconocimientos 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 multiplicaron en todo el mundo. "La introducción de las fotografías aéreas en la exploración geológica petrolera y minera. hace quince años aproximadamente —decía H. C. Rea (1941) —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 Civales y Laussedat, se propuso bautizarla nuevamente con el mismo nombre, a cuyo efecto en el mismo trabajo "the writer suggests the term "photogeology" for this little known branch of geology", que a continuación definió "as the geologic interpretation of aerial photographs". Esta definición de H. C. Rea ha tenido éxito rotundo y es la que ha quedado como original. Al menos, la definición citada tiene el mérito de hacer innecesario añadir el calificativo de aérea a la palabra fotogeología. A partir de la sugestión de H. C. 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, sea esta simplicidad, la razón de su casi unánime aceptación en todo el mundo.

FOTOIDENTIFICACION Y FOTOINTERPRETACION

La fotografía aérea y, más recientemente aún, las imágenes espaciales, han dado origen a una técnica que se extiende, entre otras, a todas aquellas actividades humanas que pacíficamente persiguen la exploración, uso y conservación, de los recursos naturales que se localizan, más o menos ocultos, en la parte superficial de la corteza terrestre, donde pueden investigarse mediante el inteligente análisis de dichos documentos.

La geología y la geografía; la agricultura y la silvicultura; la conservación de suelos y el control de la erosión y de las inundaciones; la construcción de caminos, canales y represas; el urbanismo y, en general, la planificación civil o militar de todas las actividades que el hombre proyecte sobre la superficie de la tierra y, hasta determinada profundidad, debajo de ella o de la superficie de las aguas, esto último en casos favorables, siempre encontrarán en las imágenes espaciales y aéreas, la más accesible, rápida y completa fuente de información, con la única condición de que se las sepa descifrar correctamente desde todos los puntos de vista que interesen a la ciencia o técnica que las emplee en sus investigaciones. (Juan B. Puig, 1970).

Una imagen aérea o espacial tiene, pues, múltiple utilidad científica práctica, porque reúne innumerables y valiosísimos datos de diversas categorías técnicas y científicas, relacionados con todos los fenómenos que tienen lugar en la superficie terrestre o en su inmediato ámbito subterráneo.

Las fotografías aéreas y las imágenes espaciales pueden compararse, en cierto modo, con otros documentos gráficos, como las radiografías, por ejemplo, que hablan un lenguaje secreto, solo inteligible para los expertos en su interpretación. Y, en tal sentido, la fotografía aérea y la imagen espacial pueden ser consideradas como documentos criptográficos*, cifrados, para cuyo descifrado es necesario utilizar una técnica especial, que bien pudiera denominarse "hermenéutica aérea o espacial"**, cuyos principales factores analíticos constituyen la esencia de este trabajo.

No obstante, a diferencia de los criptogramas o escritos en clave o cifra que, por lo regular, transmiten un solo mensaje, las fotografías aéreas e imágenes espaciales encierran tantos como ángulos o puntos de vista diferentes existan, desde los cuales puedan ser analizadas, hasta llegar a su total descriptografiado o desciframiento.

* De "criptografía", o arte de escribir con clave secreta o de un modo enigmático. Del griego "kriptós", oculto, y "grafos", describir.

** Arte de interpretar textos para fijar su verdadero sentido. Del griego "hermeneutikós", que sabe interpretar, derivado de "hermeneutés", intérprete.

El proceso de "descifrar el criptograma" que una fotografía aérea o imagen espacial constituyen, tiene por objeto el hacerlos inteligibles y, por lo tanto utilizables todos los datos que los integran, y que en ellas se muestran en forma de rasgos de la más variada naturaleza y de la más diversa forma.

El método de tal descifrado es igual, en general, para todas las ciencias o técnicas que utilicen tales documentos en sus investigaciones. En esencia consiste en "leerlos", como si fuesen criptogramas o mensajes cifrados, mediante la *identificación* de sus imágenes, que sustituyen las letras del mensaje, hasta formar con ella series equivalentes a palabras, con o sin sentido, y llegar así a la última letra o su equivalente objeto o rasgo.

Cada técnica o ciencia tendrá que descifrar su propio mensaje en las fotografías aéreas e imágenes espaciales, seleccionando los rasgos u objetos que interesen a su investigación. De este modo, para el edafólogo, serán los relacionados con los suelos los que atraerán su interés, mientras que el técnico forestal parará su atención preferentemente en las imágenes de los árboles y de los bosques que éstos constituyen, y el geólogo, en los rasgos relacionados con su particular investigación, ya sean estructurales, tectónicos, estratigráficos, etc.

Una vez descifrada la fotografía aérea o la imagen espacial, en su caso, mediante la *identificación* de sus imágenes, la situación sería semejante, exponiéndola en los términos más generales posibles, a la de quien pudiendo leer tal mensaje, no encontrase sentido alguno al mismo. Surge entonces la necesidad de *interpretarlo*, analizando el contenido del mensaje y deduciendo su íntimo significado, en los términos de la ciencia o técnica que lo utilice.

Pero en su ejecución, la *interpretación* presenta un doble aspecto. Por un lado, se realiza de un modo estrictamente fotográfico, es decir, interpretando objetos y rasgos que no han podido *identificarse* en las fotografías aéreas, bien por su expresión oscura en las mismas o por su condición, que se presta a que sean identificadas de forma distinta, por carecer de rasgos típicos concluyentes. En tal caso, la aplicación de diversos criterios interpretativos puede facilitar la clave de su verdadero ser. Por otro lado, la *interpretación* se verifica de una manera específica, o sea, utilizando los criterios particulares propios de cada ciencia o técnica. Estos criterios, serán poco más o menos, los mismos que los empleados por dichas ciencias o técnicas en las investigaciones llevadas a cabo en el propio suelo o terreno, ya que solo existe la variante introducida por la nueva perspectiva de observación de la superficie terrestre desde el aire o desde el espacio.

La *interpretación* de las imágenes fotográficas aéreas, que es la que aquí interesa, no es otra cosa, en esencia, que la prolongación de la *iden-*

tificación, llevada hasta su último extremo, con objeto de extraer de la fotografía aérea todos los datos que pudiera contener, hasta dejarla exhausta. Pues, así como los datos evidentes se pueden conseguir por la simple observación, *identificándolos*, los que no lo son requieren conjugar dicha observación con una serie de criterios analíticos interpretativos, que permitan llegar, si no a un grado de evidencia como en los anteriores, si a poder calificarlos de identificados a través de la interpretación. El conjunto de estos criterios interpretativos, constituye la *metodología* de la interpretación.

Por este motivo, es decir, por consistir la *interpretación* en la continuación de la *identificación* por otros medios, se hace referencia a la identificación de las imágenes de las fotografías aéreas, la cual se efectúa *interpretándolas*, cuando los medios ordinarios de observación no son suficientes. Es entonces, y no antes, cuando se hace necesaria la aplicación de las *reglas* metodológicas, que en conjunto constituyen el método o sistema de la fotointerpretación.

El que la interpretación no es otra cosa que una identificación más profunda, se demuestra por el hecho de que, en la práctica se confunden insensiblemente en la misma operación mental, de forma que siempre tiene la primera algo de la segunda, y viceversa. Y, aunque resulte arriesgado calcular la proporción en que cada una entra en la composición de la otra, dada la imponderabilidad de los factores que las constituyen y las circunstancias tan diversas que concurren en cada caso, ante la conveniencia de aclarar por medio de una cifra dicho porcentaje, para la mejor comprensión de la esencia del problema, bien puede aventurarse la afirmación de que, en la *identificación* de las imágenes de las fotografías aéreas, un veinticinco por ciento de promedio es labor interpretativa, y que en ésta, otro promedio de un veinticinco por ciento lo constituye la *identificación*.

La fusión en una, de las dos operaciones que constituyen el descifrado de la fotografía aérea, se debe a la naturaleza de las mismas, en cierto modo idénticas en una gran proporción y, a la imposibilidad de separarlas totalmente en la ejecución del proceso. Tienen, así, estas dos operaciones —identificación e interpretación— un sector común, que alcanza por término medio a una cuarta parte del volumen respectivo de cada una y, aunque se interfieren, de este modo se enlazan y complementan.

No obstante, la proporción apuntada como promedio varía constantemente, como consecuencia de los cambios que se operan en los diversos factores que afectan a la fotografía aérea, tales como las condiciones favorables o desfavorables que los propios rasgos analizados presenten, tanto a la identificación como a la interpretación o, simplemente, a la conveniencia o inconveniencia de la calidad de las fotografías para reali-

zar con ellas dichas operaciones, en relación con las circunstancias físicas que han concurrido al tomarlas.

Esto hace que, en la labor de intentar traducir en términos de utilidad, valorándolos, los datos que una fotografía aérea muestre solo potencialmente, éstos serán tanto más valiosos cuanto más y mejor identificables sean, y estén, en consecuencia, menos sujetos a la interpretación, porque la identificación es siempre válida cuando esté bien hecha, mientras que el éxito en la interpretación está condicionado por muchos factores de error.

Es necesario distinguir, por esto, en el descifrado o "lectura" —así denominan a este proceso algunos autores norteamericanos y, consecuentemente, "lectores de fotografías aéreas o de imágenes espaciales" a los intérpretes— de estos documentos, los datos que proceden de la *identificación*, de aquéllos otros que son producto de la *interpretación*, pues mientras los primeros deberán ser ciertos, al menos en la medida en que esté bien hecha la identificación, los segundos solo podrán admitirse como tales, después de convenientemente comprobados sobre el terreno todos aquéllos que ofrezcan alguna duda, por muy correctamente que se supongan interpretados. Es decir, que cada fotografía aérea analizada, tendrá como valor positivo todo lo que haya sido identificado apropiadamente y, como valor cuestionable, positivo o negativo, según el resultado de la correspondiente verificación "a posteriori", lo que haya sido interpretado.

Por ello, y aunque algunos autores estén conformes, no puede admitirse la afirmación de que el resultado total del análisis de la fotografía aérea debe quedar sujeto a la subsiguiente comprobación, pues lo evidentemente identificado no necesitará verificación alguna. Solo lo identificado indirectamente, o interpretado, precisará ser comprobado y, aún así, no todo, puesto que gran parte de lo interpretado habrá adquirido la categoría de evidencia y, por lo tanto, de objetivo o rasgo identificado.

Si desde el punto de vista interno del proceso mental que es necesario desarrollar para el descifrado del contenido de la fotografía aérea o de la imagen espacial, las operaciones de identificar y de interpretar, se realizan simultáneamente, confundidas, yuxtaponiéndose en un sector que les es común, como ya se ha visto, en su aspecto formal o externo, de aplicación práctica, dan origen a dos técnicas bien diferenciadas y jerarquizadas, sin importar la proporción en que cada una entre en la composición interna de la otra.

La *identificación* de los rasgos cuyas imágenes aparecen en las fotografías aéreas y en las imágenes espaciales, es la función previa del análisis, y consiste en *el reconocimiento de la verdadera naturaleza de los objetos*

y rasgos reales que se reproducen en las fotografías aéreas y en las imágenes espaciales, por medio de sus correspondientes imágenes. Esta operación se efectúa desde un punto de vista general, pues generales son también los rasgos y los datos por ella facilitados y, por lo tanto, generales los criterios utilizados en la identificación. Un rasgo cualquiera identificado no variará de sentido y siempre será el mismo rasgo, pues el "lector" que lo registra, carece de margen para imprimirle sello subjetivo alguno y, de este modo, un arroyo será, como rasgo identificado, un arroyo, tanto para el civil como para el militar, para el geólogo como para el geógrafo o para el economista. Por su carácter eminentemente objetivo, en la identificación influye poco la personalidad técnica del "lector" y, por ello, los resultados que se obtengan deberán ser sensiblemente iguales para varios "lectores", cuando la capacidad técnica de los mismos sea semejante. Todos "leerán" lo mismo, sin grandes variantes, puesto que la identificación tiene un valor que, además de general, es objetivo, directo e inmediato, absoluto, que se denomina "valor de identificación general", susceptible de ser cualificado y cuantificado, es decir, que posee caracteres propios, clara y netamente expuestos en los documentos aéreos y espaciales, e imposibles de alterar o confundir por el "lector" y, en una palabra, inaccesibles a la interpretación, que no puede encontrar para realizar su función, asidero alguno en ellos.

Para esta "identificación general" todos los datos son valiosos, y la identificación será tanto más correcta cuanto más completa resulte. A la "identificación" no deberá escapar ningún detalle, por ínfimo que parezca, porque aquello que puede tener tal apariencia para el "lector" o "identificador", puede revestir máxima importancia para el intérprete, que examinará después el problema, no desde el punto de vista general, sino desde un ángulo muy particular y específico. Al igual que en cartografía, el valor de la identificación fotográfica aérea estará en razón directa de la cantidad de información exacta que recoja y exhiba. La "identificación" constituye, de este modo, una técnica general, en el descifrado analítico de las fotografías aéreas e imágenes espaciales.

La *interpretación* específica es la etapa que sigue a la "identificación", en el análisis formal de las fotografías aéreas e imágenes espaciales y constituye la esencia de dicho análisis. Su objeto no es otro que el *desentrañar y valorar el significado de los rasgos u objetos reales reproducidos por sus imágenes en las fotografías aéreas e imágenes espaciales, una vez identificados, desde el punto de vista que interese a la investigación que se esté realizando.*

Por verificarse la "interpretación" solamente desde el punto de vista que interese a la investigación que se efectúe, tiene que ser necesariamente limitada, dando lugar su proceso a una "técnica particular" o

“especial”, teniendo los datos que extraiga un “valor particular de interpretabilidad”, el cual es también cualificable y cuantificable, pero solamente con relación a esa “técnica particular” o “especial”, determinada por la naturaleza de la investigación. Este valor es subjetivo, indirecto, mediato y relativo; sobre todo, es atamente subjetivo, pues depende, no solamente de la índole especial del estudio que se lleve a cabo, sino de quien lo esté efectuando, es decir, del intérprete y, en el caso de la fotogeología, del fotogeólogo. Ambos factores, los caracteres privativos de la investigación y el sujeto que la realiza, otorgarán su importancia a los datos, independientemente del valor que en sí mismos tengan, y variará notablemente al cambiar el ángulo desde el que se los interprete. Un árbol o grupo de árboles, como dato, tendrá diferente valor según que el estudio se verifique dentro del campo de la geología pura —plantas índice de mineralización, por ejemplo —o en el de la industrialización forestal.

Así, pues, mediante la *identificación* y subsiguiente *interpretación*, las imágenes fotográficas aéreas y, en su caso, las imágenes espaciales, quedarán reducidas a documentos descifrados al lenguaje común y corriente, que en vez de rasgos enigmáticos, mostrarán datos concretos con significado y valor propios.

LOS FACTORES CONSTITUTIVOS DE LA FOTOGEOLOGIA

Como técnica científica independiente, la Fotogeología está integrada por los cuatro factores siguientes: *documental, instrumental, humano y metodológico*, (F. Guerra Peña, 1961).

El factor central o más importante de los cuatro, es el humano, constituido por el intérprete o fotogeólogo. Los dos primeros factores citados, documentos e instrumentos, forman la base material técnica fotogeológica, y el último, la metodología, el sólido fundamento intelectual de todo el sistema.

Documentos e instrumentos son las herramientas con las que el fotogeólogo trabaja y, el método, norma científicamente la forma de realizar esta labor. Así, pes, los cuatro factores o elementos fotogeológicos se complementan mutuamente, integrándose íntimamente unos con otros.

Para que esta fusión resulte lo más perfecta posible, deben seleccionarse los documentos gráficos acertadamente, especialmente por lo que respecta a la escala y a la definición de las imágenes, así como el instrumento más idóneo para la ejecución de la interpretación.

El método será el factor que valorizará el contenido científico del trabajo, en la medida en que más correctamente se emplee, y el fruto de la interpretación dependerá de su acertado y sistemático uso, función propia del intérprete fotogeólogo, por lo que éste es, en definitiva, el eje alrededor del cual gira todo el sistema fotogeológico. Quizás, por ello, es el factor humano el más difícil de lograr, dadas las especialísimas condiciones que debe reunir, tanto físicas como mentales, a base de inteligencia, esfuerzo síquico, posesión de ciertas condiciones naturales intelectuales difíciles de conseguir en una sola persona, un gran acervo de conocimientos científicos y técnicos sobre la geología y ciencias afines, y un gran caudal de profunda y sólida experiencia, que solo se obtiene con la práctica fotogeológica constante y durante muchos años.

FACTOR DOCUMENTAL

Los documentos en fotogeología son principalmente gráficos y están constituidos por todos los que sirven a la fotointerpretación, como materia prima de la misma. Existen, claro es, otros documentos fotogeológicos escritos, como son los informes a que dan lugar los análisis fotogeológicos, o bien los que sirven de previa información para los mismos, etc., pero aquí se trata solo de la documentación gráfica, considerada como factor integrante de la fotogeología.

Básicamente, esta documentación está constituida por tres grupos de elementos gráficos: a) las fotografías aéreas; b) los mosaicos fotográficos aéreos; y, c) los índices fotográficos aéreos.

a) *Fotografías aéreas.*

Se denominan fotografías aéreas, según el "Manual of Photographic Interpretation" (1960), a "cualquier fotografía tomada desde el aire", o bien, "la tomada desde un aeroplano" (Albert Abrams, 1944).

El mismo autor, califica la toma de la fotografía aérea, diciendo que, "puede ser definida como la ciencia de hacer una fotografía desde un punto en el aire, con el objeto de realizar algún tipo de estudio de la superficie de la tierra".

Las fotografías aéreas pueden ser, principalmente, de dos clases: verticales y oblicuas. Esta clasificación se hace de acuerdo con la orientación del eje de la lente de la cámara y, de este modo, son "verticales" las fotografías "cuando la prolongación del eje óptico de la lente de la cámara,

corta o incide casi verticalmente en la superficie terrestre" (M. of P., 1960).

Pero como resulta imposible que todas las fotografías aéreas verticales lo sean así en términos exactos, también se las define como "aquellas cuyo eje de toma de vista, forma un ángulo inferior a 4° con la vertical absoluta" (A. Burger, 1957). Es decir, que para estos efectos, la verticalidad se admite con una tolerancia que no llega a 4° ; por lo general, dicha tolerancia es solo de 3° .

A su vez, son "oblicuas", las fotografías aéreas "cuyo eje óptico se inclina sistemáticamente sobre el horizonte" (A. Burger, 1957). Según el grado de inclinación del eje óptico, las oblicuas se dividen en "oblicuas altas" y en "oblicuas bajas".

Son fotografías aéreas oblicuas altas, "las que muestran el horizonte aparente" (M. of P., 1960), o bien la que es tomada "cuando el eje óptico de la cámara se encuentra en una posición que se acerca más a la horizontal que a la vertical" (Albert Abrams, 1944). Son fotografías aéreas oblicuas bajas, "las que no muestran el horizonte aparente" (A. Abrams, 1944).

En los trabajos de fotogeología, como en todos los demás relacionados con la fotointerpretación, son fotografías aéreas verticales las que se emplean casi exclusivamente, lo que no quiere decir que no se utilicen también alguna vez las oblicuas, especialmente las oblicuas bajas, siempre que se considere necesario, sobre todo cuando se trata de exhibir rasgos geológicos típicos, los cuales pueden mostrarse desde diversos ángulos, para su mejor observación, al presentar aspectos diferentes de un mismo objeto.

Las fotografías aéreas oblicuas tienen sus ventajas y sus desventajas, contándose entre las primeras el que presentan un aspecto más semejante al paisaje que se está acostumbrado a percibir, así como abarcar un campo muy amplio; y figurando entre las segundas, las constantes diferencias de escala de un punto a otro de la fotografía, y los ángulos muertos, que impiden la visión de gran parte del paisaje registrado en la fotografía.

Las fotografías aéreas verticales se toman sucesivamente, de forma que cada una recubre aproximadamente un 60 por 100 de la que la precede, recubrimiento llamado "longitudinal", porque se efectúa en el sentido del vuelo y a lo largo del mismo, y sin cuyo repetido recubrimiento sería imposible obtener por su observación, el sentido de profundidad o de tercera dimensión. De esta manera, cada objeto o rasgo tendrá las dos imágenes requeridas para la visión estereoscópica, una en cada fotografía del estereograma. La fotografía tiene un tamaño generalizado de 23 por 23 cms.

Igualmente, las fotografías aéreas de cada línea de vuelo, tendrán que ser recubiertas lateralmente por las del vuelo siguiente, en un 20, 25 ó 30 por 100, recubrimiento llamado "lateral", porque se efectúa a los lados de las fotografías de cada vuelo, con el objeto, no solo de sujetar o amarrar cada línea de vuelo a las que figuran a sus lados, sino también para impedir que quede algún área sin fotografiar, como puede ocurrir si no se cumple estrictamente este requisito.

El principal uso de las fotografías aéreas es su interpretación, como ocurre con la que se hace con fines geológicos, que es posiblemente la más importante de todas; otro objetivo muy importante, es el cartográfico, que cae plenamente dentro del campo de la fotogrametría.

De acuerdo con el número de lentes, las fotografías aéreas se dividen en individuales o simples, y en múltiples; y de conformidad con diversas y diferentes propiedades especiales, en pancromáticas o en blanco y negro, de color, infrarrojas, multibanda, de radar, etc.

b) *Mosaicos fotográficos aéreos*

La necesidad de presentar la vista fotográfica de un área extensa de la superficie terrestre, mayor que la que se puede obtener en una sola fotografía aérea, y a la misma escala, ha originado la confección de los llamados "mosaicos fotográficos aéreos", que se pueden definir como el "conjunto de fotografías aéreas individuales, unidas sistemáticamente para formar una vista compuesta de un área entera cubierta por fotografías".

El mosaico presenta la apariencia de una sola fotografía, en la que aparece el registro completo del área fotografiada. La exactitud y utilidad del mosaico depende de los métodos usados en su confección. Cuando se ha construido apropiadamente, el mosaico puede reunir la exactitud exigida por las especificaciones requeridas para la confección de mapas normales.

Los mosaicos se clasifican en "controlados", "semi-controlados" y "sin control".

Un "mosaico controlado" es "una compilación de fotografías rectificadas, de tal modo ajustadas que, sus puntos principales y otros puntos intermedios seleccionados, se localizan en sus posiciones horizontales verdaderas". Cada fotografía está orientada en posición, por la unión de las imágenes fotográficas de los puntos de control seleccionados, con las posiciones correspondientes cartografiadas de dichos puntos".

Se califica de mosaico "semi-controlado" aquél cuyos requisitos de confección se encuentran entre los exigidos por los mosaicos controlados y los exigidos por los mosaicos sin control. Por lo tanto, estos mosaicos semi-controlados se preparan sin fotografías rectificadas o utilizando control de posición en cada fotografía.

Un "mosaico sin control" es "una compilación de fotografías sin relación alguna con el control horizontal de las posiciones". Las fotografías están orientadas en posición recubriendo las imágenes correspondientes sobre las fotografías adyacentes. Este método es un medio rápido para obtener cuadros fotográficos compuestos de áreas, donde se desee que los rasgos del terreno, ocupen posiciones relativas, más que absolutas.

Un mosaico fotográfico aéreo presenta una vista completa del terreno, en la que, si los mayores y más críticos rasgos del área estudiada son convenientemente registrados, aumenta grandemente la claridad de la presentación. Es un método económico, además, para obtener información cartográfica, de cualquier clase que sea, y no deja de ser la geológica una de las más importantes.

Los mosaicos no dejan de tener sus defectos, especialmente los sin control, principalmente a causa del relieve, pero esto se puede eliminar, si las circunstancias técnicas lo exigen, y las económicas lo permiten. El tamaño de un mosaico corriente, es de 60 por 50 centímetros.

c) *Indices fotográficos aéreos*

Los "índices fotográficos aéreos", contrariamente a lo que pudiera suponerse, son documentos extraordinariamente importantes, tanto en fotogeología, como en cualquier técnica científica que utilice fotografías aéreas en sus trabajos, pues si se carece de ellos, el resultado es la confusión y el caos en el manejo de las mismas.

El "Manual of Photographic Interpretation" (1960), define al índice fotográfico aéreo, como "el mapa índice confeccionado por el acoplamiento de las fotografías individuales en sus propias posiciones relativas, y copiado fotográficamente en conjunto a escala reducida".

En efecto, gracias a los "índices fotográficos", se pueden localizar exactamente las posiciones relativas de las fotografías aéreas dentro del levantamiento aéreo general, es decir, registrar la posición relativa de las mismas dentro del conjunto, así como identificar todas las demás fotografías que se encuentren directa o indirectamente relacionadas con cada una de ellas.

La escala de estos índices fotográficos aéreos, como es natural, debe ser mucho menor que la correspondiente a las fotografías originales, o sea, a las copias de contacto, puesto que no se trata de reproducir éstas, sino de mostrar las relaciones de unas con otras. De esta manera, si la escala original —que dicho sea de paso, es la más conveniente para la interpretación fotogeológica— es de 1 a 20,000, el índice fotográfico debe ser de escala 1 a 100,000.

Los índices fotográficos deben confeccionarse de forma que las foto-

grafías que los integren muestren bien visibles todos los datos que constituyen la información marginal que contienen y, entre los que deben figurar: el número del proyecto o misión; el del rollo de película; el del vuelo; el de la propia fotografía; la posición aproximada, con indicación de longitud y latitud; el día y la hora de la toma; la longitud focal de la lente de la cámara; la escala; la posición de la cámara con respecto a la horizontal, mostrada por un nivel de burbuja; la altitud; el rumbo, etc.

Con estos índices se puede planear, no solo el control terrestre, en la forma más conveniente y siempre y cuando sea necesario, sino también todas las labores de registro, compilación, dibujo, reproducción y archivo, etc.

Además, se pueden observar, a escala reducida, todos los rasgos que las fotografías muestran a escala original, por lo que pueden identificarse rasgos típicos conocidos, así como seleccionarse otros, que pongan en evidencia determinados fenómenos que interesen a la labor que se esté llevando a cabo, todo lo cual se puede realizar fácilmente, por abarcarse con una sola mirada grandes extensiones de terreno.

Estos índices, constituyen en realidad mosaicos sin control, de los que solo se diferencian por su pequeña escala, y por conservar las marcas de identificación de las fotografías, que se han indicado antes, y que aquéllos no tienen.

FACTOR INSTRUMENTAL

Para la fotogeología cualitativa, que es la de que aquí se trata, el instrumento básico es el "estereoscopio" y, como auxiliar, algunos transportadores de información, de las fotografías aéreas, a los mapas fotogeológicos.

Estos estereoscopios son fundamentalmente de tres clases, que enumerados por su orden de aparición, en el campo científico, son los denominados: "catóptricos", "dióptricos" y "mixtos".

a) *Estereoscopios catóptricos o de reflexión*

Más conocido popularmente como "estereoscopio de espejos", fue inventado por Sir Charles Wheatstone (1832-1838), encontrándose el original en el Museo de la Ciencia, de Londres. En la actualidad ya no se usa, habiéndose sustituido por el modelo de Helmholtz.

Según Fausto García Castañeda (1965 y 1966), las principales ventajas de este modelo de estereoscopio, son:

a) Que el modelo estereoscópico completo puede observarse a la vez, sin tener que cambiar la posición de las fotografías ni el estereoscopio.

b) Que el plano donde se forma la imagen virtual es, prácticamente, paralelo a la superficie de la mesa donde se colocan las fotografías (cuando no se usan lentes ni prismáticos).

c) Que el espacio bajo los espejos y entre los soportes del instrumento es lo suficientemente amplio para permitir hacer con libertad anotaciones en las fotografías.

A estas ventajas, cabría añadir una más: la de que, por carecer de lentes de aumento, se observa el relieve sin exageración, dato que es muy importante en ocasiones.

Estos estereoscopios catóptricos o de espejos son de manejo delicado, por lo que a los espejos respecta, pues el baño de nitrato de plata no se aplica por la parte posterior del espejo como en los ordinarios; en los de los estereoscopios se aplica directamente, por la parte delantera, y queda sin protección, por lo que puede ser fácilmente deteriorable, con las manos o con la contera del lápiz, al anotarse las fotografías. Por otra parte, el espejo va perdiendo su brillo con las sucesivas limpiezas, aunque se ponga en ellas el mayor cuidado, lo que hace aconsejable que se reduzcan al mínimo. El objeto de dar el baño de nitrato de plata por la parte del espejo que queda sin protección, es decir, por el frente del mismo, se debe a la necesidad de evitar la refracción de la imagen, que se produciría en la superficie frontal, si el baño se diera en la superficie posterior, como se hace en los espejos ordinarios, lo que originaría dos imágenes paralelas, y separadas entre sí en la misma medida que tenga el grosor del vidrio. El espejo, además, debe ser totalmente plano, para impedir que las imágenes se desfiguren. Estos requisitos hace que los espejos de los estereoscopios catóptricos, sean de elevado precio y difíciles de reponer.

b) *Estereoscopios dióptricos o de refracción*

Conocidos corrientemente como “estereoscopios de lentes”, “plegables”, “de bolsillo”, y también “de campo”, por ser los que se llevan en los reconocimientos sobre el propio terreno.

El estereoscopio dióptrico fué ideado por Sir David Brewster, en 1844. Consta de dos lentes biconvexas —o meniscos— como los de las lupas corrientes, y su amplificación suele oscilar entre 2X y 2.8X.

Las principales ventajas de los estereoscopios de lentes, según Fausto García Castañeda (1965 y 1966), son las siguientes:

- a) Su luminosidad.
- b) Su manejabilidad.
- c) Su costo reducido.

A su vez, sus mayores desventajas, son:

- a) Su reducido campo visual.
- b) La deformación del plano que contiene a la imagen virtual, pues éste es cóncavo, es decir, adquiere la forma de un plato y, por consiguiente, altera las pendientes, por lo que debe evitarse estimarlas con estos instrumentos.

De los muchos modelos existentes de estereoscopios de refracción, pueden citarse como entre los más útiles los siguientes:

“Abrams Pocket Stereoscope Model CF-8”, con aumento de 2X y distancia interpupilar ajustable.

“Abrams Stereoscope Model CB-1”, con amplificación de 2X y 4X, con dos juegos de lentes fijos reversibles y distancia interpupilar ajustable entre 50 y 75 mm. En la parte superior lleva un pequeño cojín de goma blanda “anti-fatiga” para el descanso de la frente, cuando es necesario.*

“Abrams Stereoscope Model SV-1”, con lentes corregidas de color, cada una de las cuales facilita un mínimo de campo visual de 90 mm. de diámetro, con un poder de resolución de 16 líneas por milímetro.

“Jena Pocket Stereoscope”, aumento 2.8X; longitud focal 89 mm.; distancia máxima interpupilar, 65 mm.

“Eye Saver Pocket Stereoscope”, aumento 2.25X, y ajuste de distancia interpupilar entre 56 y 74 mm. Se puede enfocar cada lente independientemente, lo que resulta muy ventajoso para quienes tienen algún defecto en la vista.

“Pocket Stereoscope Type 214GE, aumento 2.25X, distancia interpupilar ajustable entre 55 y 75 mm. Su campo visual es de 12.5 cm. por 12.5 cm.

“Pocket Stereoscope FAA-70-30”, aumentos 2X y 4X, con lentes corregidas para un mínimo de aberración cromática y pueden enfocarse individualmente. Tienen un mecanismo de tornillo para el ajuste de la distancia interpupilar.

Al lado de estos estereoscopios de lentes, de armadura metálica, hay otros de plástico, inclusive las lentes, con solo los soportes metálicos, como:

“Lightweight Pocket Stereoscope”, aumento 2.25X y distancia interpupilar ajustable.

“SRA Pocket Stereoscope”, aumento 2X. Marco y lentes moldeados en una sola pieza de plástico.

* Este cojín es muy útil, como lo prueba el que muchos fotointerpretes se confeccionen uno de algodón, o doblen un pañuelo, para colocarlo entre el instrumento y la frente. Esto hace poco recomendables los de plástico, que se rompen con el peso de la cabeza.

Estos dos últimos modelos por su bajo precio **son muy aptos para la enseñanza.**

Pero para un trabajo cómodo y de responsabilidad, así como por la excelente cualidad de sus lentes, el mejor estereoscopio dióptrico es, sin duda alguna, el "Estereoscopio de Puente Zeiss Aerotopo".

Este estereoscopio consiste en un sólido puente, que se puede extender de 25 a 37 cm., según la necesidad del trabajo, de forma que queda bajo el estereoscopio un amplio espacio libre para verificar las anotaciones y capaz para fotografías de 23 por 23 cm., las cuales quedan perfectamente fuera de los apoyos del instrumento. Tiene dos juegos de lentes intercambiables de 2X y 4X, cuyos enfoques se efectúan abriendo o cerrando los apoyos. El enfoque de precisión se efectúa ajustando las lentes.

c) *Estereoscopios mixtos*

Se llaman así por estar compuestos de lentes y de espejos y, en ocasiones, también de prismas.

Se pueden clasificar en dos clases: para observación "simple" y para observación "doble".

A este grupo pertenecen los más importantes y valiosos estereoscopios para la realización del trabajo científico profesional de interpretación fotogeológica.

Entre los instrumentos "simples" o para un solo observador, destacan los siguientes:

"Wild ST-4", con un campo visual aproximado, de 18 por 23 cm., binoculares de 3X y 8X, pentaprimas. El campo visual de 3X es de 70 mm., y de 8X, de 26 mm. Distancia interpupilar ajustable de 56 a 74 mm.

"Nikon Stereoscope", con aumentos de 1.3X y 3X, campo visual de 18 por 24 cm. Con 1.3X el campo visual es de 18 cm.; con 3X, es de 70 mm. Distancia interpupilar ajustable de 65 a 72 mm.

"Carl Zeiss Oblique Viewing Stereoscope" o simplemente, "Zeiss O.V.", con binoculares de 3X y 4X, y también de 6X. Dispone de un carro portavistas y puede acoplarse a un pantógrafo. La distancia interpupilar se ajusta mediante un tornillo. El pantógrafo permite realizar reproducciones gráficas en 0.2 a 2.5 veces la escala de la imagen.

"Old Delft Scanning Stereoscope", todavía continúa siendo uno de los instrumentos más útiles en fotointerpretación, pues puede moverse el sistema óptico, en el sentido de las X y de las Y, girando dos botones, sin que el instrumento ni las fotografías tengan que ser desplazados. Igualmente, los aumentos —1.5X y 4.5X— se logran tirando de una varilla hacia afuera, sin necesidad de tocar los binoculares, y la fusión de

las imágenes del par estereoscópico se consigue mediante el giro de otros dos botones centrados en los que sirven para el desplazamiento del campo visual del instrumento. Moviendo los oculares se verifica el ajuste interpupilar, y girando éstos, se consigue el de precisión. El campo visual permite observar el recubrimiento entero de fotografías de 23 cm. por 46 cm., lo que se consigue mediante un sistema de espejos y prismas rotatorios.

Este estereoscopio "Old Delft" es "simple" o para un solo observador, pero como puede ser acoplado a otro del mismo tipo y servir para dos observadores, también puede ser considerado como "doble" y, en efecto, es el primer instrumento de dicha clase diseñado con tal propósito. Este sistema de acomodamiento tiene la ventaja de que el instrumento puede ser utilizado aisladamente, por un solo observador, cuando así convenga, o acoplado con otro, para observación doble.

Pero el estereoscopio mixto de "doble" observación, por excelencia, es el "Galileo Santoni SFG3/b", puesto que con él se puede realizar simultáneamente el trabajo por dos observadores sobre el mismo estereograma y con un solo instrumento, que tiene muchas ventajas sobre todos los demás de su clase. Así, el desplazamiento del sistema óptico se lleva a cabo con el movimiento de la cabeza hacia la derecha o hacia la izquierda, presionando ligeramente sobre dos ruedas de goma blanda con los arcos superciliares, sin tener que levantar las manos del trabajo. Conseguido así el desplazamiento en el sentido del eje de las X, el de las Y se logra mediante una palanca que se mueve con la mano izquierda. Como las cajas de ambos sistemas ópticos se encuentran conectadas, los dos observadores tendrán siempre bajo sus ojos, o lentes, el mismo sector del estereograma.

Los aumentos de este estereoscopio son 1.25X y 4X, consiguiéndose este último al tirar suavemente de un botón sujeto a una varilla, sin necesidad de intercambiar lentes ni binoculares; la distancia interpupilar se consigue acercando o separando a éstos, y el ajuste de precisión haciendo girar a los oculares. El campo visual abarca una superficie de 23 cm., con el aumento de 1.25X. Con el de 4X, se obtiene uno de 70 mm.

Otro estereoscopio para "doble" observación, es el "Condor T-22Y Dual Stereoscope", con aumentos de 1.5X y 3X, manejables independientemente en cada sistema óptico, con distancia interpupilar ajustable de 56 a 74 mm. Cada sistema óptico consta de 4 espejos, 60 lentes y 16 prismas.

d) *Otros instrumentos utilizables en fotogeología cualitativa*

Entre ellos cabe incluir: los "estereoscopios microscópicos"; los

“transportadores de información de las fotografías a los mapas”; y los “analizadores de negativos”.

Entre los “estereoscopios microscópicos” figura el “Bausch and Lomb Zoom 95 Stereoscope”, el cual facilita aumentos comprendidos entre 2X y 20X, mediante el sistema “zoom”. Con él se pueden observar fotografías estereoscópicas de 12.5 cm. o 23 cm., así como transparencias, mediante un sistema que permite estudiar todo el modelo estereoscópico. De todos modos y, desgraciadamente, el alto poder resolutivo de este instrumento se encuentra muy por encima de las posibilidades que ofrecen los filmes comerciales.

El “Bausch and Lomb Zoom 240 Stereoscope”, todavía se encuentra más lejos de las posibilidades de los filmes comerciales, pues sus aumentos van de 3X a 120X. Pueden servir, tanto para el análisis de rollos de filmes de 70 mm., como para fotografías aéreas de 12.5 cm. y de 23 cm. y, en general fotografías de cualquier tamaño, en rollo o cortadas, con el recubrimiento normal, mediante determinando aditamentos. (F. Guerra Peña, 1975).

De los “transportadores de información” pueden citarse:

El “Vertical Sketchmaster -Type 260GE”, diseñado para transferir detalles de las fotografías aéreas a los mapas, y de éstos a otros mapas. El observador mira a través de un espejo semitransparente montado al frente del instrumento, que refleja parte de la luz y permite a la otra parte que el operador vea la fotografía aérea y el mapa impreso o manuscrito, como si estuvieran superpuestos. La lente, inserta debajo del espejo semitransparente, reduce el tamaño de la copia de acuerdo con las características particulares diópticas de la lente usada. Los tres apoyos del instrumento pueden ajustarse para corregir la inclinación y las diferencias de escala.

El “Jena Sketchmaster” es otro convertidor de fotografías aéreas en mapas, y se basa en el principio de la “cámara lúcida”. Admite fotografías de un tamaño máximo de 24 cm. por 24 cm. El campo de visión del doble prisma es aproximadamente de 45° . El máximo diámetro del campo de visión en el plano del mapa, es de 30 cm. y la relación de ajuste de escala entre la fotografía y el mapa es de 0.4X a 2.7X.

Otro instrumento de esta clase es el “Carl Zeiss Luz Sketchmaster”, en el que sobre una placa vertical metálica se sujeta la fotografía o el dibujo, mediante cuatro imanes, mientras que el mapa se encuentra horizontalmente situado en la mesa correspondiente. El operador mira a través de un doble prisma y ve superpuestas la imagen del mapa y de la fotografía aérea, trasladando los datos de una a otro.

Mejor que todos estos transferidores de información, es el “Stereosketch Hilger and Watts”, que consiste en un bastidor que sostiene una

doble mesa, con un estereoscopio mixto de espejos, lentes y prismas sobre la superior. Los espejos interiores son semitransparentes, es decir, traslúcidos. La mesa superior mencionada tiene una abertura central, correspondiente al tamaño del espacio que separa las dos fotografías del par estereoscópico, por cuya abertura se puede observar la mesa situada en el nivel inferior, que es sobre la que se coloca el mapa al que se desean transferir los detalles de las fotografías aéreas. De este modo el operador observa al mismo tiempo el estereograma y el mapa. El bastidor tiene dos correderas por las que se desliza, mediante el movimiento de una manivela, la mesa inferior, y así se puede ajustar el mapa a la escala conveniente. La relación entre las escalas de la fotografía y la del mapa es de 0.8 a 2.2.

Otro excelente instrumento de esta clase es el "Bausch and Lomb Zoom Transfer Scope", que facilita una magnificación continua de 1X a 14X. El funcionamiento binocular de este aparato, como el del anterior, facilita extraordinariamente el trabajo y evita la fatiga, en ocasiones insoportable, cuando el trabajo dura, producida por la visión monocular, de los otros instrumentos, que, obligan a tener un ojo cerrado mientras se labora con el otro. El tamaño de las fotos que se pueden utilizar es de 23 cm. por 23 cm.

Otra ventaja muy grande de estos transferidores de información de tipo binocular, es que permiten la percepción de la tercera dimensión, como ocurre con el "Hilger and Watts", pero no con el "Zoom Transfer Scope", que se basa en el principio de la "cámara lúcida".

Finalmente, otro instrumento auxiliar, el "Interpretómetro Jena", permite revisar los rollos de fotografías negativas, para reconocer sus detalles y calidad, estereoscópicamente, pasando el filme de un carrete a otro.

FACTOR HUMANO I

CONDICIONES ANATOMICO-FISIOLOGICAS ESENCIALES DEL FOTOGEOLOGO: ESTEREOSCOPIA

Los requisitos anatómico-fisiológicos que debe reunir el fotogeólogo, para poder realizar su labor interpretativa de las imágenes fotográficas aéreas, son fundamentales y preceden a las condiciones síquicas que debe también poseer para llevar a buen término su trabajo, toda vez que sin aquéllas, es decir, sin las de naturaleza anatómico-fisiológica, las condiciones síquicas vendrían sobrando.

Resulta obvia la necesidad que el fotogeólogo tiene, como todo fotointérprete, de poseer dos ojos útiles, es decir, con vista ambos, pero aunque tal condición aparentemente parecen reunirla todos los seres humanos, en realidad no es así, pues por accidente o por malconformación innata, son muchos, relativamente, los que poseen un solo órgano útil de visión, en lugar de dos, lo que quiere decir, que no todos pueden ser fotogeólogos, por lo que a la falta de las condiciones anatómico-fisiológicas esenciales respecta.

Obedece la necesidad de tener visión en ambos ojos, es decir, de que funcionen los dos del modo más perfecto posible, a que la percepción del volumen o tercera dimensión de los objetos, solamente se puede lograr mediante la obtención simultánea de dos imágenes de cada rasgo observado, una con cada ojo, ligeramente diferentes una de otra, de manera que el ojo derecho percibirá el frente del objeto y el lado derecho del mismo, mientras que el ojo izquierdo captará el mencionado frente y el lado izquierdo del objeto. Recogidas ambas imágenes por los dos ojos y transmitidas por los correspondientes nervios ópticos a los centros visuales del cerebro, se fusionan en una sola imagen, produciéndose en tal momento, la sensación de profundidad o de tercera dimensión. Como se puede ver, el fenómeno de la *estereopsis* o *estereoscopia*,* es de naturaleza anatómica, fisiológica y síquica, a la vez.

Pero el simple hecho de poseer dos ojos, y de tener visión en ellos, e inclusive perfecta, no son condiciones suficientes para tener visión estereoscópica o tridimensional, de profundidad, que permita percibir el volumen espacial de los objetos. Para que tal fenómeno se produzca, se requiere —y ésta es una condición de la mayor importancia, tanto para la labor del fotogeólogo, como para la vida y desarrollo del ser humano— que, además de tener dos ojos, con visión en ambos y en mayor o mejor grado, los tenga situados en *un solo plano frontal*.

Este hecho, que pasa inadvertido para la mayoría de las personas, constituye un fenómeno maravilloso que, unido a su gran desarrollo cerebral, ha facilitado al hombre escalar en poquísimo tiempo —considerado geológicamente— la cumbre del mundo orgánico. Con razón afirma Otto von Gruber (1932), que “una de las más admirables facultades del ojo humano es el poder de la visión binocular, que permite la percepción del espacio tridimensional”.

Con la visión estereoscópica, consecuencia de tener los dos ojos en el mismo plano, el hombre se ha adueñado, por decirlo así, de la Naturaleza, y dominado a todos los demás seres vivientes. Gracias a esta facultad, el hombre, no solamente puede percibir el volumen de las cosas, sino

* Del griego “stereo”, sólido; y “skopô”, observar.

además, —lo que no es menos importante— medir distancias, pues su aparato visual no es otra cosa que un magnífico telémetro, lo que le permite moverse entre los objetos voluminosos con suma facilidad y conocer las distancias a que se encuentran, tanto de él, como unos de otros.

Debe tenerse, pues, bien presente, que una cosa es la visión monocular, otra la binocular y, otra diferente de ambas, la estereoscópica. Y, es con esta última, con la única que se puede obtener la visión en relieve. Con las otras dos, las imágenes no se percibirán tridimensionalmente, sino bidimensionalmente, es decir, que se podrá percibir solamente su longitud y anchura.

Otros muchos animales, además del hombre, poseen visión tridimensional, y este hecho también los ha convertido en dueños absolutos de su propio medio ambiente, como ocurre con los leones y tigres, entre los mamíferos, por ejemplo, o con las águilas y cóndores, también como ejemplo, entre las aves. En general, los animales carnívoros, tienen los dos ojos en el mismo plano, y así disponen de visión tridimensional, mientras que los herbívoros, aunque posean dos ojos, no los tienen en el mismo plano, sino en dos planos distintos, y consecuentemente no disponen de visión de profundidad perfecta, por cuyo motivo ven todas las cosas más o menos planas.

La posesión de la visión binocular estereoscópica, otorga a los animales carnívoros tales ventajas en la lucha por la existencia, que los convierte en poderosos victimarios, y a los animales herbívoros en seguras víctimas de aquéllos. Gracias a su preciso telémetro, el león salta sobre la gacela sin fallar, con precisión admirable y, gracias a su telémetro, el águila se lanza en picada desde una gran altura y a velocidad de más de cien kilómetros por hora, para atrapar a solo unos centímetros del suelo al inocente gazapo y volverse a remontar con él hasta su nido. Una pequeña equivocación en el cálculo de la distancia, causaría la muerte instantánea del águila, al estrellarse contra el suelo.

Cabe hacer aquí la consideración, de que la única defensa del hombre, además de la constituida por su desarrollado cerebro, es su visión estereoscópica. Sin ella y sin ciertos órganos que tienen otros animales, defensivos los unos, como pieles blindadas o acorazadas, o la gran velocidad a que pueden correr en sus huídas, u ofensivos los otros, como poderosas garras y formidables colmillos, etc., el hombre no sería el “rey de la Creación”, como suele llamarse a sí mismo, sino un inofensivo y desamparado ser, bueno solamente para servir de alimento a los animales con “estereopsis”.

Como curiosidad, puede citarse aquí, respecto a las llamadas “corridas de toros”, el hecho de que éstas existen porque uno de los contendientes —el “torero”— está dotado de visión tridimensional, mientras

que el otro —el “toro— carece de ella. Y, esta diferencia otorga tal ventaja al torero, que siempre resulta vencedor en tal lucha, salvo en las contadas ocasiones en que el toro o él cometen un error o descuido, en cuyo caso puede ser corneado el torero. Y, esto es así, porque el toro vislumbra todo más o menos plano, incluyendo al torero y a la capa o muleta, por lo cual y para llamar la atención del toro, las capas y muletas son llamativamente rojas y deben agitarse bruscamente ante él. Si el toro tuviese visión estereoscópica, no embestiría a la capa, simple trapo sin volumen, sino al “bulto” formado por el torero, y éste no podría escapar del toro más que en rápida huída, ni más ni menos a como haría un gamo perseguido por un león. Esta es la razón por la cual hay “corridas de toros”, pero no de tigres, panteras o leones; a éstos y a otros animales semejantes, no se les puede torear porque tienen magnífica visión tridimensional.

El grado de percepción de la profundidad o “estereopsis”, varía con los individuos y se llama “grado de agudeza estereoscópica”, del mismo modo que cambia también en los diferentes sujetos, el “grado de agudeza visual”.

El ojo humano normal en movimiento, es capaz de cubrir un campo visual horizontal de aproximadamente 45° hacia adentro, y de 135° hacia afuera, con un alcance vertical de alrededor de 50° hacia arriba, y 70° hacia abajo. En el caso de que el ojo esté completamente quieto, su alcance horizontal se limita a 160° , o sea, 45° hacia adentro, más 115° hacia afuera.

Cuando las fotografías de un par estereoscópico o estereograma no se observan siguiendo la secuencia con que fueron tomadas, porque su orden se invierte, de forma que la que tenía que ser examinada con el ojo derecho lo es con el izquierdo, y la que debía ser vista con éste lo es con el derecho, se produce el fenómeno de “seudoscopia” o “falsa estereoscopia”, por efecto de la cual se invierte el relieve de los objetos o rasgos observados, viéndose, por ejemplo, las montañas como valles, y viceversa, los valles como montañas.

La estereoscopia se logra cualquiera que sea la agudeza visual del observador, ya que el único requisito es que tenga visión en los dos ojos, independiente de que la visión sea normal en ambos órganos, o normal en uno y débil en otro o, bien débil en los dos ojos. Claro es, que cuando mayor sea la agudeza visual del observador, mejor será su agudeza estereoscópica, por estar ambas cualidades en razón directa la una de la otra.

FACTOR HUMANO II

CONDICIONES SIQUICAS ESENCIALES DEL FOTOGEOLOGO

La práctica de la fotogeología está reservada al geólogo, "que está adiestrado y tiene experiencia en el uso de las fotografías aéreas y, especialmente, en su estudio estereoscópico" (Victor C. Miller, 1961), y que, por ello, recibe el calificativo de "fotogeólogo".

Pues bien, para la práctica de la fotogeología se requiere concurren en el fotogeólogo una serie de facultades síquicas, que constituyen la esencia de su personalidad científica profesional.

Estas cualidades no son, ni especiales ni ajenas a las que el resto de los miembros del género humano poseen, pero sí pueden considerarse indispensables para la práctica fotogeológica, pues constituyen una selección muy particular de tales cualidades, y tienen que estar hasta tal grado desarrolladas que, consideradas en conjunto, forman una modalidad nueva y diferente de la mente humana, ajustada en este caso y, precisamente, a la labor fotogeológica.

En efecto, así como cada trabajo material requiere para su ejecución del empleo de unos instrumentos también materiales, los que están determinados por la índole misma de la tarea, sus fines y aplicaciones y, principalmente, por las dificultades que la misma entraña y que el instrumento disminuye o elimina totalmente, la tarea intelectual del fotogeólogo exige la concurrencia en la mente del mismo, de una serie de facultades síquicas, muy variadas y complejas, que abarcan en mayor o menor grado, todas las que integran su intelecto. Sobre este particular, manifiesta Ellis L. Rabben (1960), que "las actividades desarrolladas por el fotointérprete son psicológicamente intrigantes porque necesitan de la mayor parte de las habilidades desarrolladas en la conducta humana diaria".

Este conjunto de cualidades síquicas constituye la herramienta de trabajo del fotogeólogo, de cuyo afinamiento y diestro empleo dependerá la calidad del producto que se obtenga en la investigación. Es decir, que por muy buena que sea la calidad de las imágenes, así como de los instrumentos y metodología utilizados en la interpretación, se puede afirmar con Robert N. Colwell (1952), "que el fotointérprete mismo es, no solo uno de los factores limitantes que determinan la cantidad de información obtenida de las fotografías, sino que es el principal de ellos". Sin temor a equivocarse, bien se puede estimar en no menos de un ochenta o noventa por ciento la participación que corresponde al factor humano en fotogeología.

Como disciplina científica, y la fotointerpretación lo es, en general, y

la fotogeología, en particular, el fotointérprete, o sea "quien identifica imágenes y determina el significado de los objetos que ellas representan" (Ellis L. Rabben, 1960)*, debe estar dotado de espíritu científico, lo que equivale a tener el ánimo abiertamente entregado o dispuesto a realizar sus estudios de un modo científico, es decir, metódico. Esto obliga a que la práctica fotogeológica se realice observando fielmente las reglas del pensamiento científico, utilizando medios constituídos por las reglas que cada disciplina científica tiene, y que no se encuentran al alcance de quienes no estén dotados de esa especial disposición de la mente, y que constituye el motor de toda investigación seria: el *espíritu científico*. Las facultades síquicas que el fotogeólogo debe poseer, constituyen, presididas por ese espíritu científico, los elementos que hacen posible el desarrollo de la investigación fotogeológica.

El análisis de las facultades síquicas del fotogeólogo constituye una parte, la más importante indiscutiblemente, de la teoría de la fotogeología, al lado de la anatómico-fisiológica —ya descrita— y de la cultural, que viene a continuación de ésta, las que, conjuntamente integran el "factor humano".

Esta teoría constituye en sí misma, una estructura mental del fotogeólogo, impregnada profundamente de espíritu filosófico, es decir, que integra una filosofía, en la que el sujeto es el propio fotogeólogo y, todo lo demás, desde el método al instrumental, son elementos accesorios a ella. Las cualidades síquicas del fotogeólogo, forman la trama básica de esta filosofía.

Al describir someramente las principales cualidades síquicas que debe reunir el fotogeólogo, se trata de revalorizar su personalidad científica, que en los últimos años ha adquirido extraordinaria importancia a impulsos del rápido desarrollo de la teleinterpretación, acelerado por la aparición de una nueva tecnología, principalmente constituída por modernos sistemas de teledetección —más corrientemente conocidos como "sensores remotos", a consecuencia de la abrumadora presión en nuestro medio, de la lengua inglesa— consideración que trae de nueva cuenta a manifestar la necesidad ineludible de valorizar objetivamente las características reales que constituyen la esencia de la condición científica del fotogeólogo.

* Aunque se mantiene la definición de Ellis L. Rabben, se suprimen en ella las palabras "fotografías aéreas" y se deja la de "imágenes", que comprende todas las de la detección remota, para proponer aquí, en vista de los progresos de la tecnología interpretativa, o mejor, de la teleinterpretativa, ante la inconveniencia de llamar "fotointérprete", a quien no solo interpreta fotografías aéreas, y en atención a que la fotografía aérea constituye también un teledetector, se sustituya la voz "fotointérprete", por la de "teleintérprete", más apropiada al presente y, sobre todo, al futuro científico.

La evolución progresiva y rapidísima de la fotointerpretación, que pasó de ser terrestre a aérea, y de aérea a espacial, en muy pocos años, cuyos logros sorprendentes permiten esperar confiadamente un futuro inmediato pleno de soluciones para sus problemas, no es el solo motivo que exige la revalorización de la personalidad científica del fotogeólogo, colocándolo en el nivel técnico y científico que le corresponde, en vista de la situación ya creada, para lograr los frutos que es dado esperar lógicamente de su trabajo; con imperativo mucho más categórico lo demanda urgentemente la necesidad de prepararlo para que en el futuro, no solamente pueda asimilar fácilmente la tecnología que proceda de fuera, sino de crear, al mismo tiempo, la tecnología propia que, a su vez, pueda ser también exportable y generadora de divisas monetarias fuertes.

Esta revalorización del fotogeólogo debe partir de la base de su actual cualificación, bien magra, por cierto, como ya se indicó anteriormente puesto que en el complicado proceso de la teleinterpretación, el intérprete es el personaje olvidado, cuando no desconocido, como sujeto encargado, específicamente, de llevar a cabo la función de interpretar las imágenes logradas por una larga cadena de sucesivos eslabones científicos y técnicos, todos ellos muy complejos y costosísimos, tanto desde el punto de vista económico, como de la investigación.

Ciertamente, resulta incomprensible, al par que sorprendente, el escaso valor o profunda desvalorización que se otorga al teleintérprete, en esta secuencia, en la que culmina con su personal esfuerzo cerebral, todo el trabajo realizado por el sistema teleinterpretativo, valorizando así con su labor, todas las posibilidades científicas y técnicas de tantos elementos concurrentes —cámaras y lentes, emulsiones, vehículos espaciales y aeronaves, etc., etc.,— al único fin de interpretar las imágenes.

En efecto, de los tres elementos constitutivos de la personalidad técnico-científica del intérprete, solo el anatómico-fisiológico se suele tener en cuenta, cuando de valorizar su capacidad se trata. Para ello se le somete a un examen de la vista, con objeto de verificar si dispone de visión estereoscópica y, todo lo más, se procede a calibrar su agudeza visual. Si el resultado es positivo, el sujeto en cuestión queda ya admitido en el gremio profesional con la calificación de fotointérprete, cuando menos en potencia.

Por lo que respecta al elemento cultural, la cualificación del fotointérprete resulta más sencilla todavía, pues se otorga al efecto, plena validez al título profesional que ostente el aspirante o, en su defecto, a sus experiencias profesionales exhibidas en su "curriculum vitae".

En cuanto a las condiciones síquicas que debe reunir todo intérprete, nada. El citado Ellis L. Rabben (1960), señala a este respecto que "los psicólogos han efectuado muy poca investigación sobre el problema de

seleccionar pruebas efectivas y válidas para fotointérpretes". Se considera que, teniendo éste visión estereoscópica y una agudeza visual admisible, ya reúne las condiciones necesarias para realizar su labor. Se parte, para llegar a tal conclusión, de la falsa premisa de considerar que, estando el ser humano normal dotado de una serie de facultades intelectuales que le capacitan para realizar todos los actos que la vida exige, ellas le bastan y sobran para llevar a cabo la fotointerpretación.

Pero tal conclusión constituye un grave error. En primer lugar, porque no todos los seres humanos tienen la misma capacidad mental, considerada en conjunto, ni uniformemente desarrolladas las distintas facultades que la integran, valoradas en detalle, lo que origina desigualdades que pueden ser limitativas y hasta prohibitivas de su función, para el intérprete; en segundo término, porque cada actividad humana, sobre todo si es profesional, exige la concurrencia en quien la ejerza, de una serie de facultades síquicas especiales altamente desarrolladas y, sin las cuales no podrá realizar su tarea; si éstas le fallan, de nada le servirá al intérprete, gozar de gran agudeza visual, ni de perfecta visión estereoscópica.

Y, esto es tanto más cierto, cuando todos sabemos que la necesidad de buena visión, o de visión normal, incluyendo la estereoscopía, en la fotointerpretación es muy relativa, pues en esta actividad, es el cerebro el que orienta y controla la función interpretadora, rigiéndola desde el principio al fin. Se puede sacrificar la buena vista, si es necesario y si tal es el requisito para aprovechar un buen cerebro, sin duda alguna. Llevando esta recomendación a un caso extremo, se puede afirmar que, en último grado, hasta la visión estereoscópica puede admitirse en un mínimo de capacidad, cuando las cualidades síquicas del intérprete fotogeólogo sean extraordinarias, pues éstas le permitirán realizar correctamente su trabajo, más y mejor que la perfecta visión puede facilitar su labor a un intérprete de cualidades síquicas esenciales débiles.

Así, pues, en fotointerpretación geológica, como en cualquiera otra aplicada a las ciencias que la utilizan, todo gira alrededor de la mente del intérprete y, más concretamente, de aquellas cualidades específicas síquicas que la naturaleza del trabajo exige concurren en él, del mismo modo que en el ejercicio de otras actividades científicas o artísticas, se necesita se den otro género de cualidades mentales muy diferentes. Desde luego y, a modo de ejemplo, el fotointérprete no necesita de memoria auditiva, ni olfativa, ni táctil, pero sí de memoria visual; tampoco necesita de disposición marcada para las matemáticas o para la literatura, condiciones básicas para el ejercicio de otras profesiones.

Las cualidades síquicas que la labor fotointerpretativa exige, son ingénitas unas o que nacen con el individuo, y adquiridas otras, o que se desarrollan durante el transcurso de la vida profesional. Ambas categorías

de cualidades se desarrollan progresivamente con la práctica, con la gimnasia mental que la labor exige, con el trabajo mismo y el estudio, con la experiencia.

Alguna razón debe de existir para que cualidades tan importantes, se olviden al tratar de valorar la capacidad del fotointérprete y, ésta no puede ser otra, que la gran dificultad existente para el examen y calificación de estas facultades síquicas de un modo eficiente, tarea que exige, entre otras cosas, la existencia de jueces calificadores dotados en grado excepcional, de todas esas mismas cualidades síquicas que tratan de descubrir en el candidato a fotointérprete, aunque sólo sea potencialmente, así como de métodos que puedan eficazmente, a base de pruebas, compulsarlas. Resulta, en efecto, fácil medir y pesar objetos materiales, pero resulta muy difícil medir y pesar cualidades mentales, inmateriales, sin contar con que, en la valorización de las últimas, ejerce gran influencia el sujeto examinador, que siempre emitirá un juicio subjetivo.

Conviene aclarar aquí que, aunque la ciencia progresa ahora más en un año que antes en un siglo, cambiando todo velozmente "todo fluye, todo cambia perpetuamente" —como ya dijo Heráclito, cinco siglos antes de que comenzase nuestra era— esta mutación no es, sin embargo, tan rápida, que haga innecesarias o supérfluas las consideraciones que anteceden, sobre las condiciones síquicas que debe reunir el fotogeólogo, entre ellas por las sencillas razones que siguen:

1a.—Así como el fotointérprete constituye por sí solo, el 80 ó 90 por 100 de todo el proceso fotointerpretativo, es a su vez en un 99 por 100 cerebral su trabajo, de forma que su mente constituye el único impulsor de todo el sistema.

2a.—Están todavía muy lejanos los tiempos, por decir algo, en que el cerebro humano invente un instrumento que lo sustituya y, tanto más lejos, si se trata, nada menos, que de uno para interpretar, que es función cerebral demasiado delicada y, por lo tanto, nada apta para ser programada en las modernas computadoras e instrumentos similares, capaces, a lo sumo, de manejar automáticamente la información obtenida por interpretación, pero sin interpretar nada, por ser función imposible para ellas.

3a.—Así como la fotointerpretación se ha desarrollado hasta ahora en un ambiente impregnado de empirismo, los grandes adelantos logrados por su tecnología en los últimos tiempos, principalmente por el empleo, en la toma de imágenes, de sistemas de teledetección muy perfeccionados, obligan al planteamiento urgente del problema de transformar todo el proceso fotointerpretativo en un total sistema científico, que asegure la posibilidad de hacer frente a los problemas de orden técnico y cientí-

fico que, sin duda, han de presentarse, en un futuro muy cercano y lleno de realizaciones imprevisibles.

4a.—La tecnología de la fotointerpretación cambia sobre la marcha, puede decirse, y se modifica a tal velocidad, que no resulta exagerado el plazo de diez años, como máximo de vigencia para la actual. Estos cambios y transformaciones obligan al fotointérprete a cambiar igualmente, si no en sus estructuras mentales, que son inalterables, sí en los procedimientos técnicos y en la filosofía de la fotointerpretación, con vistas a la futura interpretación, no ya de imágenes terrestres o lunares, sino de los planetas restantes del sistema solar.

En las consideraciones que siguen, se trata de presentar, en un primer intento, las condiciones esenciales síquicas que debe reunir el fotointérprete, es decir, el fotogeólogo, luego de la introducción anterior, que no agota, ni mucho menos, los temas enunciados, con la advertencia de que se hace referencia al fotointérprete desde el punto de vista genérico, salvo cuando sea conveniente hacer énfasis especial sobre el fotogeólogo, lo que se efectuará siempre que sea oportuno.

La ciencia o, si se quiere, la técnica de la interpretación, exige para su caracterización como tal ciencia, y según ya se ha dicho anteriormente, de la existencia de un método que le sea aplicable. En su aspecto netamente práctico y, algo modificado, puede aplicarse el diseñado por H.T. U. Smith (1943), según bosquejo del gran geólogo Douglas W. Johnson (1933), el cual puede dividirse en las tres grandes etapas que siguen, cada una de las cuales determina y exige en el intérprete una serie de condiciones síquicas predominantes, que no por ello dejan de tener que estar presentes en las restantes fases, para poder efectuar correctamente su trabajo.

Primera etapa: *Observación.*

En ella se incluyen la *clasificación* y la *generalización* de los datos, de la información obtenida. Mediante la "clasificación" se agrupan los hechos, rasgos y fenómenos observados, comparándose unos con otros; es una fase de recolección y de selección ordenada de información. Con la "generalización" se intenta, establecer las relaciones existentes entre dichos datos, empleándose el razonamiento, principalmente inductivo, es decir, pasando de los conceptos particulares a los generales.

Para la realización de esta primera etapa, el intérprete deberá estar dotado, además del tantas veces mencionado "espíritu científico", de *curiosidad científica* también; de *paciencia*; de *atención*; de *penetración* y de *sagacidad*; de *exactitud* y de *precisión*; de *imparcialidad*, de *desinterés* y de *objetividad*.

Segunda etapa: *Formulación de hipótesis.*

Con sus fases de *verificación*, *eliminación* o *conformación* y de *revisión de hipótesis*.

Para la realización de esta segunda etapa, el intérprete, por la índole especial de su trabajo, deberá disponer de excelente *memoria visual* y, sobre todo, de un gran caudal de *imaginación*, especialmente si se trata de fotogeología.

Tercera etapa: *Fotointerpretación final*.

Para la culminación del proceso, en esta última etapa el fotointérprete y, aún más el fotogeólogo, deberá disponer de un sólido *espíritu crítico* y, sobre todo, *autocrítico*, en un grado sumo de pureza en su intención, y de inquebrantable determinación en su ejercicio.

En relación con los anteriores conceptos sobre el método científico y a su aplicación a la fotointerpretación, en cuanto exige determinadas condiciones síquicas en el intérprete, conviene extenderse un poco para puntualizarlos y aclararlos, siguiendo el orden de etapas anteriormente bosquejado, como se hace a continuación:

OBSERVACION

La observación, es decir, la facultad de percibir lo que ocurre dentro y fuera de uno, constituye algo así como la mitad del contenido de la investigación científica y es, además, el pivote sobre el que reposa el método experimental, que integra la otra mitad complementaria de dicha investigación.

Se dice corrientemente de una persona que es "buena observadora" o, contrariamente, que es "mala observadora". Pues bien, el fotointérprete deberá estar dotado de una capacidad extraordinaria de "observación", para percibir todo lo que se le ofrezca o presente en su trabajo, clasificándolo ordenadamente en su cerebro, automáticamente, para después verificar las generalizaciones necesarias mediante el razonamiento. No puede ser fotointérprete quien carezca de esta facultad de observar o la posea debilitada. Trabajaré inútilmente y los datos más importantes y valiosos escapan a su deficiente observación.

El fotointérprete deberá poder hacer las *observaciones simples*, que son las más sencillas de verificar, por ser suficientes para ello nuestros sentidos, principalmente el de la vista, que es el más objetivo y efectivo de todos, así como las *observaciones complejas*, que son las que se llevan a cabo con métodos e instrumentos confeccionados al efecto, contándose entre estos últimos el sencillo estereoscopio, aunque algunos tipos, como ya se vió oportunamente, alcanzan cierta complejidad.

Pero el fotointérprete no puede contentarse con *ver* solamente, u *ob-*

servar visualmente, ya sea con o sin metodología e instrumentos; es preciso que *quiera conocer* y, no por mera curiosidad, la razón y el significado de los hechos que observa, y de ahí, precisamente, su condición de intérprete. Debe, pues, tener *curiosidad científica*, como secuela del "espíritu científico", que debe animarlo en su trabajo todo.

El fotointérprete debe tener gran cuidado cuando verifique observaciones, de sobrepasar el nivel de las puramente casuales o cotidianas, con las que muchas veces coinciden las de orden científico, para lo cual deberá conocer previamente, las condiciones fundamentales a que tendrán que responder sus observaciones, si pretende que éstas sean científicas. Esto quiere decir que, el fotointérprete debe dominar la ciencia para la cual verifica las observaciones, por lo menos, aunque mejor será que conozca profundamente también todas las ciencias conexas con la misma.

A este respecto, debe distinguirse en la "observación", la denominada *pasiva o espontánea*, de la *activa o provocada*. Cuando el fotointérprete se satisface con hacer la observación simple de las imágenes, para registrar los fenómenos, hechos o rasgos que contienen, hace "observación pasiva"; por el contrario, cuando a dicha labor añade la observación de otras imágenes, por ejemplo, para efectuar comparaciones con las mismas, que le aproximen a la solución del problema que trate de resolver, se dice que verifica "observación activa".

En la "observación" cuenta mucho la *paciencia*, para que la observación sea paciente también. La "paciencia" es la facultad de esperar sosegadamente, sin precipitaciones, a que las cosas se resuelven en su correspondiente momento o, dicho de otro modo, la lentitud o tardanza en la realización de las cosas que se pueden ejecutar prontamente, con objeto de que resulten mejores.

Este don de la "paciencia" es uno de los que más escasean entre los que se dedican, sin ser fotointérpretes, claro está, a la fotointerpretación. Imágenes plagadas de problemas y difíciles, por lo tanto, de interpretar, son analizadas en unos minutos, sin resolverse nada serio o importante y, registrándose, en cambio, rasgos obvios, exentos de interpretación. Estas personas están dominadas en su trabajo, por la impaciencia, acuciadas posiblemente por la falta de tiempo o por la perentoria necesidad de mayores ingresos económicos, lo que suele ocurrir con frecuencia entre los que tienen ajustados sus emolumentos por unidad superficial interpretada. También se produce este fenómeno entre los novatos, aunque estén sujetos a sueldo fijo, principalmente porque sus escasos conocimientos les impiden ver lo que las imágenes fotográficas contienen y, no pudiendo observar nada en ellas, las dan rápidamente por analizadas.

El fotointérprete debe estudiar las imágenes con inagotable paciencia,

no pasando de un rasgo a otro o de una imagen a otra, sin antes haberla analizado plenamente y registrado su significado con seguridad. Si después de esto, le quedase alguna duda, deberá renovar el análisis, hasta quedar satisfecho del resultado, ya que la posibilidad de reinterpretar es una de las grandes ventajas del método fotointerpretativo; puede regresarse a la imagen tantas veces como sea necesario, lo que no puede hacerse cuando se trata de trabajos de campo, o solo es posible a un costo elevado y gran pérdida de tiempo. Ni que decir tiene que las imágenes deberán ser examinadas totalmente, punto por punto de las mismas, pues si se quedase alguna porción por examinar, por pequeña que fuese, posiblemente encerrase ésta datos importantes para la marcha de la interpretación.

Juega también importantísimo papel en la "observación", la *atención*, que el ilustre filósofo Georges Santayana (1942), define "como una vía de acceso e, inclusive, la única vía de acceso al reino de las esencias". Es una facultad específica del ser humano, porque los animales irracionales no la tienen, precisamente porque la atención es un acto voluntario.

En la "atención" se distingue la *potencial* de la *real*, siendo la primera la que tienen los niños de corta edad, incapaces de dirigir su conciencia hacia un punto determinado, ni de mantenerla viva durante todo el tiempo que sea necesario. Con el desarrollo, los niños pueden convertir, mediante un esfuerzo, la atención "potencial" en "real".

Sin embargo, muchas personas adultas, aunque tienen la facultad de "atender", es decir, que tienen la posibilidad de atención, con el solo intento de tratar de convertirla de potencial en real, se cansan.

El fotointérprete deberá disponer de una facultad de *atención real*, aguda y precisa, y sobre todo, susceptible de mantenerse durante el lapso que se necesite, sin cansancio, pues en el caso de producirse éste, afectará a la calidad de la observación y, por ende, a la interpretación entera.

La "atención" no es simplemente un enfoque de los objetos o rasgos, para iluminarlos; la atención va más allá, pues para el fotointérprete constituye, como elemento de la observación, el motor de la misma, es decir, que la observación deberá ser *atenta* además, para ser completa.

Elementos también vitales para la "observación" en fotointerpretación, son:

La *fuerza de penetración*, que hace que la observación no se limite a lo puramente superficial, sino que penetre dentro del problema correspondiente, hasta el fondo del mismo, desentrañándolo completamente, diseccionando todo el conjunto.

Sagacidad en la "observación", lo que conlleva seleccionar de entre el cúmulo de información que la imagen contiene, lo de mayor trascenden-

cia e importancia, dejando de lado lo que no sea de valor para la fotointerpretación específica que se esté efectuando, ante la imposibilidad de registrarlo todo, que no pasa de ser un propósito ideal o irrealizable.

La *exactitud o precisión* de las observaciones es otro de los indispensables requisitos en fotointerpretación. Esta recomendación parece estar de más, por lo evidente de su necesidad, pero en realidad ocurre que no se observe en infinidad de casos, constituyendo, a veces, un hábito su falta de cumplimiento. Esto es así, cuando los rasgos no se registran en el "preciso lugar" que les corresponde o bien, se generalizan, perdiéndose todo el detalle. El fotointérprete, en la precisión y exactitud de sus "observaciones", no debe tener otro límite que el que le imponga la imposibilidad material de ser más preciso y exacto por imperativo de la escala o de la definición de las imágenes, como suele ocurrir en la interpretación de las de los vehículos espaciales y satélites artificiales.

Finalmente, el fotointérprete debe ser *imparcial y desinteresado* en sus "observaciones", es decir, que deberá mantenerse libre de tendencias o de inclinaciones, produciendo su trabajo independientemente de otros que se hayan efectuado con anterioridad, por autorizados que éstos sean, no registrando más datos o rasgos que aquéllos que "observe", sin debilidad alguna al respecto. Como en la ejecución de todo trabajo de fotointerpretación, siempre hay interés y, en ocasiones, muy valioso, ya sea considerado desde el punto de vista científico o del económico, parte del cual afecta al propio intérprete, éste debe mantenerse en el terreno neutro, que le proporciona su objetiva interpretación, aunque sea en contra de sus propios intereses económicos o científicos.

INVENCION O FORMULACION DE HIPOTESIS

En términos absolutos, todo en fotointerpretación es hipotético, puesto que lo que se interpreta no pasa de ser una hipótesis, que solo después de verificada convenientemente se admite como realidad. Y, en esta segunda etapa o fase del método científico aplicable a la fotointerpretación, durante la cual se trata de desentrañar el íntimo sentido de las *imágenes observadas*, registrándose las relaciones directas e indirectas que entre las mismas puedan existir, para lograr un cuadro verdadero, tanto del conjunto como de los detalles, por mínimos que sean, se recurre, como método de trabajo, a la *invención o formulación de hipótesis*, con su natural secuencia de verificación, eliminación o confirmación, y revisión de las mismas.

Para la realización de tales cometidos, el intérprete debe poseer, ante todo y sobre todo, un gran caudal de *imaginación*, pues esta cualidad sí- quica será la única y poderosa luz que le permitirá abrirse camino a través de lo desconocido en el inmenso campo de la fotointerpretación.

Esta "potencia imaginativa" o "facultas imaginandi", como la llamó Immanuel Kant, constituye una condición "a priori", de la posibilidad de todo conocimiento, como principio único y fundamental del mismo. Sin "imaginación" no puede producirse ninguna novedad ni cambio cognoscitivo o, dicho de otra manera, sin ella el progreso científico resulta imposible.

Por definición, la "imaginación" no es otra cosa que "el reflejo original de la realidad objetiva en la conciencia, es decir, la representación figurada en ella, de los fenómenos reales o irreales" (Rosental y Iudin, s.f.). Estas representaciones, por muy exageradas que sean, están lejos de ser un producto puramente subjetivo de la conciencia humana, puesto que se basan, en último análisis —como ocurre con los sueños, según estableció Sigmund Freud— en la realidad objetiva, de la cual son reflejos.

De este modo, la imaginación es la fuente inagotable y siempre renovada, del progreso científico, como lo es también de todas las manifestaciones artísticas y, por lo que a la ciencia respecta, sugeridora indispensable de hipótesis.

Es necesario distinguir aquí, como lo hacía ya Kant, entre "imaginación" y "fantasía", que se prestan a confusión y que muchas veces se consideran sinónimas. Según Kant, ambas facultades mentales se distinguen entre sí por el hecho de ser la primera, creadora o productiva, y la segunda, puramente reproductiva. Por ésto, se ha denominado también a la primera "imaginación fecunda", y a la segunda "imaginación estéril", por basarse ésta en una falsa concepción de la realidad, y aquélla en un firme conocimiento de los hechos. Písarev*, distinguía a este efecto, entre "los sueños útiles, que impulsan el trabajo y las ensoñaciones huera".

Como un ejemplo de imaginación fecunda y de ilusión fantástica, viene aquí como anillo al dedo, según suele decirse, el caso de Cristóbal Colón, que poseyendo una imaginación que le permitió vislumbrar la posibilidad de llegar a Asia por el occidente, también tenía fantasía para confundir los manatíes con sirenas, como las que encontró en uno de sus viajes de descubrimiento, "aunque no tan bellas como otras que vió en el golfo de Guinea".**

* Citado por Rosental y Iudin, "Diccionario Filosófico Abreviado", Ediciones Pueblos Unidos, Montevideo, Uruguay, s. f.

** "Relaciones y Cartas de Cristóbal Colón", Biblioteca Clásica, Tomo CLXIV, Perlado Páez y Cía., Madrid, 1914.

Naturalmente, que la imaginación del intérprete debe de ser fecunda, es decir, productora y constructiva, inventiva y creadora. Con ella, podrá transformar y combinar las percepciones de un modo más o menos libre, creando con ellas representaciones sensibles imaginativas, inventándolas.

Para ello, el intérprete deberá operar mediante un *complejo mental intuitivo-imaginativo*, que tendrá que ser tanto más profundo cuando más difícil resulte la labor interpretativa, ligando así la visión intuitiva, directa e inmediata, que le ofrece el documento teledetectado, con el proceso imaginativo subsiguiente, que conduzca en un primer intento al hallazgo de la verdad.

Prácticamente, tal documento, sea o no fotografía aérea, presenta al intérprete, de un modo directo e inmediato, un panorama que intuitivamente interpreta, aprehendiendo así las primeras verdades, las realidades más evidentes. Pero cuando el proceso pierde fuerza y se detiene, por haberse alcanzado todas las posibilidades asequibles intuitivamente, se recurre al poderoso concurso de la imaginación creadora, en la medida que sea necesario y en la forma más idónea, con relación al tema de que se trate. Al final de este otro proceso se habrán podido establecer muchos hechos y realidades, así como formulado hipótesis para la comprensión de fenómenos más oscuros. La imaginación nos hará ver, por adelantado, lo que todavía esté oculto, facilitando así, en grado sumo, cualquier investigación, al allanar el camino que conduce a la verdad, en cualquier orden de problemas. Por ella, se pueden conocer con anticipación los resultados de las investigaciones.

En fotointerpretación, como en todos los procesos creadores, el poder especial de la imaginación consiste en que no crea imaginativamente nuevas situaciones frente a la realidad, sino que materializa la existencia de tales realidades, registrándolas fotointerpretativamente.

Respecto al gran valor de la imaginación, cabe citar aquí a Jakob Frohschammer (1877), quien ya manifestó en el siglo pasado, con gran tino e "imaginación", que ésta es "tan importante e indispensable en toda función creadora, que hasta el propio universo es un producto de la fantasía divina".

Refiriéndose a la extraordinaria influencia de la imaginación en la vida del hombre Théodule Ribot (1900), sostiene el que, "si hiciéramos balance de lo que el ser humano gasta en fantasía en la vida estética, por una parte, y en los inventos técnicos, por la otra, la balanza se inclinará hacia el lado de estos últimos". Es decir, que los sabios emplean más imaginación en sus trabajos científicos que los artistas, considerando a éstos como exponentes —a veces exclusivos— de lo fantástico e imaginativo, en los suyos.

En la formulación de hipótesis, el intérprete debe ser *cauto*, o sea,

precavido y reservado en sus planteamientos; prudente y moderado, lo que le facilitará elementos para el discernimiento y buen juicio, pero sin exceso, como aconsejaba el descubridor del oxígeno, Joseph Priestley*, al afirmar que "los grandes descubrimientos científicos, jamás se le ocurrirían a un espíritu prudente, lento y *excesivamente cauteloso*"; pues tales descubrimientos "solo pueden ser llevados a cabo por hombres de ciencia que dejan volar libremente su imaginación".

Finalmente, el intérprete en esta fase de su trabajo, debe poseer una gran *memoria visual*, que le permita relacionar inmediatamente y sin esfuerzo, imágenes que ya vió en el pasado, con las que está observando en el presente. Estas le recordarán a aquéllas, por la sola memoria visual de las mismas, a través de imágenes vívidas y gráficas, conservadas en la memoria.

FOTOINTERPRETACION FINAL: AUTOCRITICA

El fotointérprete debe de estar espontáneamente dispuesto a revisar constantemente los resultados de su trabajo, independientemente de que haya empleado en su investigación los métodos científicos más exigentes o, dicho de otro modo, a someter su labor a un continuo proceso crítico, efectuado por él mismo.

La aplicación de la crítica a los trabajos propios, o sea, a autocríticarlos, constituye por sí misma una actividad metódica, que permitirá al intérprete descubrir los errores en que haya podido incurrir y a corregirlos, de una manera tanto más completa, cuanto mayor y mejor sea su espíritu crítico. De este modo, el fotointérprete puede barrer y eliminar los obstáculos que se opongan en su camino hacia la realización de una interpretación correcta.

Con la crítica externa, es decir, la que procede de fuera o del exterior, esta crítica interna o autocrítica, constituye uno de los principales medios para impulsar el desarrollo de la técnica y de la ciencia y, como no podía por menos de suceder, es de una importancia capital para el intérprete, pues con la aplicación del método autocrítico podrá eliminar las posibles contradicciones que surjan en la fotointerpretación, al mismo tiempo que subsana insuficiencias y llena lagunas, destruyendo, en tér-

* Citado por Ferrater y Mora, José. "Diccionario de Filosofía", Editorial Sudamericana, cuarta edición, Buenos Aires, 1958.

minos generales, todas las trabas que puedan oponerse al progresivo desarrollo de su trabajo.

Pero el fotointérprete debe distinguir muy bien entre "autocrítica" y "seudocrítica", pues mientras la primera tiende a fortalecer extraordinariamente las facultades mentales del intérprete, poniendo al desnudo, con crudeza, los errores cometidos en la interpretación, ocasionalmente en circunstancias muy duras y difíciles de admitir, la segunda tiende, por el contrario, a admitir como buenos los malos resultados o a disminuir el volumen de éstos, de forma que grandes errores se conviertan en pequeñas faltas. Suelen aplicar la "seudocrítica", que bien puede definirse además, como "autocomplacencia", derivada de un falso sentimiento de paternalismo con los propios trabajos, los que después de haber obtenido éxitos, merecida o inmerecidamente, como los logrados por pura casualidad, se contentan con lo logrado y no vuelven a tener un acierto en el resto de su vida profesional. De todos modos la mejor de las "seudocríticas", por ser falsa, será también muy débil.

El ejercicio de la "autocrítica" constituye una disciplina muy difícil de observar, pero es indispensable para la labor del fotointérprete que, por el solo hecho de interpretar, está más sujeto que otros técnicos, a incurrir en errores. Cuanto más "autocrítico" sea el intérprete, tanto más valorizará su personalidad científica y asegurará su criterio personal.

Y es difícil el cometido "autocrítico", porque el ser humano está siempre dispuesto a practicar la famosa "ley del embudo", según la cual, la parte ancha del mismo es para pasar nuestras equivocaciones, mientras que la estrecha lo es para juzgar las ajenas, lo que comprueba el conocido aforismo de que "la crítica es fácil, mientras que el arte es difícil". Y, la fotointerpretación lo es, en este sentido.

Porque desde el momento en que un fotointérprete registra rasgos, hechos o fenómenos sobre las teleimágenes, después de haber realizado un esfuerzo analítico para comprender su realidad objetiva y consiguiendo implicaciones, apadrina, por decirlo así, los resultados y, más que a criticarlos mediante la "autocrítica", se siente más bien atraído por su defensa, frente a la crítica de los demás. Por ello, se hace preciso poner gran cuidado en tratar de escapar siempre a tal atracción o inclinación, la cual llevamos naturalmente dentro de nosotros, como un lastre negativo, que nos impele a ver la paja en el ojo ajeno y a no ver la viga en el propio.

Además de esta tendencia innata en el fotointérprete, se oponen a la "autocrítica positiva", las rutinas en el trabajo, la lentitud en el mismo, muchas veces debida al burocratismo. La resistencia a realizar esfuerzos mentales y, en general, todo lo que suponga una ampliación de la labor interpretativa simple, ya por sí misma agotadora, sin otro testigo o juez

que la propia conciencia del intérprete, que en muchas ocasiones no suele estar a la altura que debiera.

De todo lo dicho anteriormente, puede concluirse:

1o.—Para el ejercicio de la fotointerpretación geológica, lo mismo que para la práctica de cualquiera otra rama de esta técnica, el fotogeólogo debe reunir una serie de condiciones síquicas, sin las cuales resulta imposible su función. Estas condiciones o facultades, constituyen el factor más importante de la personalidad del fotointérprete y, por lo tanto, determinan decisivamente su capacidad para la fotointerpretación;

2o.—La valuación de estas condiciones, tanto cualitativa como cuantitativamente, debe de estar sujeta a un sistema de pruebas psicológicas específicas, no generales solamente, ni fisiológicas, por lo que respecta al sentido de la visión, sino establecidas para obtener información completa de todas y cada una de las facultades que el fotointérprete debe reunir, para la realización plena de su función;

3o.—Dada la dificultad de hallar fácilmente personas en las que concurren todas las cualidades indispensables, para el ejercicio íntegro de la fotointerpretación, debe ejercerse una vigilancia constante y atenta sobre el factor humano de que se disponga, con objeto de seleccionar y probar a aquellas personas que demuestren reunir condiciones para la fotointerpretación, con objeto de sugerirlas y facilitarles su capacitación como fotointérpretes;

4o.—En previsión del extraordinario y creciente desarrollo futuro de la fotointerpretación, deben prepararse con tiempo fotointérpretes especializados, tanto de fotografías aéreas como de imágenes espaciales, principalmente en el campo de la fotogeología, sin esperar a que las circunstancias los demanden con urgencia, y en vista de que la no disponibilidad de personal técnico adecuado, constituye a veces el mayor obstáculo, para el desarrollo científico y, en consecuencia, económico, de un país, y;

5o.—Por todo ello, deben determinarse las bases para el establecimiento y desarrollo de una clara y firme filosofía de la fotogeología, que abarque desde el fotogeólogo a la telefotointerpretación, pasando por la educación, el instrumental y los métodos.

En relación con el factor humano, considerado en su aspecto síquico, resulta de particular interés insistir aquí en la gran importancia de la enseñanza fotogeológica, sobre bases científicas y técnicas sólidas y, en relación con ello, sobre la necesidad impostergable de crear una especialización académica, para la formación de fotointérpretes, en forma de Maestrías en Fotogeología.

Vista esta posibilidad desde el ángulo de lograr su utilidad máxima, resulta evidente la conveniencia de dividir la enseñanza fotogeológica en

dos grados, el primero de los cuales se situaría en el año de la carrera de Ingeniero geólogo en que se comenzase el estudio de materias geológicas propiamente dichas, con el propósito de preparar al estudiante a servirse de las fotografías aéreas y de la fotogeología, desde el momento en que comenzase sus estudios geológicos, lo que le serviría de capital ayuda en los trabajos de geología de campo, geología estructural y estratigráfica, geomorfología, etc. De este modo, el estudiante llegaría más lejos, más profundamente y en menos tiempo, en el análisis de materias como las apuntadas.

El otro curso debería situarse en el último año de la carrera de Ingeniero geólogo, y como especialización en las investigaciones para la localización de yacimientos petroleros, mineros y de agua subterránea, que constituyen las tres principales ramas fotogeológicas, pues aunque las técnicas generales para éstas, son básicamente las mismas, se diferencian en gran manera, por la necesidad de utilizar escalas diferentes y transitar caminos técnicos muy distintos entre sí.

La necesidad de localizar urgentísimamente nuevos yacimientos de recursos naturales renovables y no renovables, hará que este proyecto se convierta en realidad, sin que transcurra mucho tiempo.

FACTOR METODOLOGICO

La fotogeología constituye una ciencia, porque sus aplicaciones son puramente científicas y, en su desarrollo se sirve del contenido de la ciencia geológica, y como tal ciencia tiene su propio método, sin el cual no se la podría calificar como tal.

Etimológicamente, "método" significa "camino", es decir, "camino mental", por el cual llegar al conocimiento de la verdad. En el caso de la fotogeología no se trata de alcanzar, ni mucho menos, la verdad absoluta, y sí solo de lograr una verdad relativa, "la verdad técnica fotogeológica".

Al mismo tiempo que ciencia, la fotogeología es una técnica científica, y no solo de "saber", de "conocer", como ciencia, se trata, sino de "saber", como técnica, qué camino hay que tomar, es decir, qué método debe utilizarse en la interpretación fotogeológica, para lograr con ella las máximas garantías de acierto, en la tarea de "hacer" geología utilizando solamente fotografías aéreas, principalmente, así como imágenes espaciales.

Solo existe un método científico, el cual es aplicable a todas las cien-

cias y a todas las técnicas y, por lo tanto, también a la fotogeología. "Aunque en apariencia complicado —dice el célebre filósofo británico 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.

De esta manera el proceso fotointerpretativo metódico comprende las dos consabidas fases: 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 o en las imágenes espaciales, a los fenómenos 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.

El método fotogeológico está fundamentalmente integrado por una serie de factores analíticos clave o reglas normativas, que regulan el pensamiento interpretativo al aplicarse a la fotogeología. En su formulación, siguiendo a Lachelier y en virtud de los principios antes enunciados, se ha tratado de reducir lo particular a lo general, lo compuesto a lo simple, y lo contingente a lo necesario, con objeto de determinar 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 en las fotografías aéreas e imágenes espaciales que, en conjunto, constituyen un sistema, pero seleccionándolos previamente en atención a su posible interés geológico.

Los criterios escogidos, con vista a su empleo en el estudio particular de las imágenes en las fotografías aéreas, desde el punto de vista geológico, han sido agrupados de acuerdo con sus características similares, de semejanza, coherencia o analogía, o de identidad de origen.

Estos criterios constituyen "reglas", que se agrupan sistemáticamente del modo siguiente:

Grupo primero: Reglas que se derivan de condiciones inherentes a las propias fotografías, o sea, de la expresión física de los elementos técnicos que las constituyen, tal y como éstos se exhiben en las copias positivas o de contacto, hechas con películas en blanco y negro. A este grupo corresponden:

- 1.— Tono.
- 2.— Textura.
- 3.— Microtextura.

Grupo segundo: Reglas derivadas de los objetos o rasgos cuyas imágenes integran las fotografías aéreas y las imágenes espaciales, por ser ele-

mentos característicos y constitutivos de dichos rasgos u objetos. Pertenecen a este grupo:

- 4.— Forma.
- 5.— Tamaño.
- 6.— Sombra.
- 7.— Tipo o modelo de configuración.
- 8.— Relaciones con objetos o rasgos asociados.
- 9.— Microrrasgos no topográficos.

Grupo tercero: Reglas derivadas de la topografía, tal como se muestra en las fotografías aéreas cuando se observan estereoscópicamente, es decir, como aparece en el modelo tridimensional. Corresponden a este grupo:

- 10.— Formas topográficas o relieve terrestre.
- 11.— Lugar, sitio o emplazamiento.
- 12.— Posición o gradiente.
- 13.— Ruptura de pendiente.
- 14.— Alineaciones o rasgos alineados.

Grupo cuarto: Reglas que se derivan de los caracteres fisiográficos y geomorfológicos de los rasgos naturales de la superficie terrestre, tal y como los muestran las imágenes aéreas y espaciales. Forman este grupo:

- 15.— Erosión.
- 16.— Drenaje.

Grupo quinto: Está constituido por una sola regla, producto de la fusión de tres, que constituyen la "correlación roca-suelo vegetación", comprendiendo ésta última, tanto a la cubierta vegetal natural, como a la cubierta vegetal artificial, agricultura o uso del suelo por el hombre.

- 17.— Correlación roca-suelo-vegetación.

El valor individual de estas reglas de la fotointerpretación geológica es muy diverso, de forma que las correspondientes al "tono" o al "drenaje", son fundamentales, por cuyo motivo se les otorga en su lugar la importancia que tienen; otras, como la "microtextura" o los "microrrasgos no topográficos", son de carácter complementario, pero se las incluye también, con objeto de dar una visión completa del cuadro metodológico y, además, porque en ocasiones, estas reglas de categoría secundaria, pueden ser decisivas en un momento dado de la interpretación.

Observaciones generales sobre las reglas del primer grupo.

Las reglas de este grupo son eminentemente fotográficas. Una fotografía aérea o imagen espacial, 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 marcados contrastes, de un modo brusco.

En realidad, el "tono fotográfico" forma la base, por decirlo así, tanto de la particular interpretación fotogeológica, como de la identificación de las imágenes, en un sentido general, y cualquiera que sea el objeto 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 fotográfico" constituye, 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 reproduzca 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 desde antes de su iniciación, las cuales serán tanto mayores cuanto más correctos sean los tonos, es decir, las expresiones tonales grises de los rasgos terrestres reproducidos.

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

1.—TONO.

El "tono" lo define el "Manual of Photographic Interpretation" (1960), en las fotografías aéreas, no de color, como "la variación distinguible de matiz, desde el blanco al negro". Por su parte Lueder (1959), presenta una definición más amplia y completa, en el mismo sentido que la anterior, al decir que "el tono es cualquier densidad o matiz entre el blanco y el negro absolutos, incluidos ambos, tal como se registra el terreno sobre la negativa fotográfica aérea, no de color, expuesta, o en la positiva impresa con ella".

En efecto, una fotografía aérea no es, en definitiva, otra cosa que un trozo de papel o de cartulina, sensibilizado por una de sus caras, que presenta en esa superficie una apariencia gris en todos sus tonos, los cuales pueden ir gradualmente desde el blanco o casi blanco hasta el completamente negro, representando esas variaciones de matiz los colores reales de los diversos objetos cuyas imágenes constituyen la fotografía propiamente dicha. Según la diferente naturaleza y color del objeto reproducido, así será el tono del gris en que dicho objeto se registrará en la fotografía.

Los colores reales de los rasgos que aparecen en las respectivas imágenes fotográficas, llegan así, cuando se tiene alguna experiencia, a ser fácilmente identificados por sus diferentes tonos de gris, con los que son registrados en las fotografías aéreas. Muchos de estos rasgos u objetos reales, así como los fenómenos concomitantes con ellos, suelen tener tonos grises típicos o característicos en las fotografías aéreas, los que, una vez conocidos, se emplean por similitud en el análisis de imágenes hasta tal momento no identificadas.

Al tratar del "tono" se hace preciso distinguir entre el tono de la fotografía en sí, y el tono de los rasgos cuyas imágenes se muestran en el modelo fotográfico aéreo, es decir, el correspondiente a los colores auténticos de dichos rasgos, ya sean rocas, suelos o vegetación. A éstos últimos se les denomina "tonos absolutos", mientras que los primeros reciben el nombre de "tonos relativos" (Hartman e Isaacs, 1958), que son a los que se refiere la regla.

En realidad, los "tonos absolutos" son tonos o matices de color, tonos del terreno, mientras que los "tonos relativos" son tonos o matices del gris en las imágenes fotográficas aéreas en blanco y negro. En ocasiones y, por la poca precisión con que son empleados, ambos términos pueden ser confundidos.

Las dos definiciones del "tono" anteriormente transcritas, son empíricas o formales. Para comprender la verdadera esencia del fenómeno es necesario acudir a una definición más técnica, o de fondo, tal y como nos la facilita Richard G. Ray (1956), al decir que "el tono es la medida de la cantidad relativa de luz reflejada registrada realmente en una fotografía".

G. C. Brock (1952), que es quien ha tratado el tema con mayor conocimiento y profundidad, hasta el momento presente, distingue en la producción del tono, las tres etapas siguientes:

1a.—La emisión de luz desde los objetos. (Luz reflejada en el tono de la fotografía aérea);

2a.—La recolección y enfoque de una parte de esa luz por la lente de la cámara, y;

3a.—El registro permanente de la imagen por la emulsión sensible.

Ahora bien, la cantidad de luz recogida y registrada en la fotografía aérea dependerá, a su vez, de:

a) Del ángulo de incidencia de los rayos luminosos;

b) De la capacidad de reflexión de la superficie;

c) Del tipo de la emulsión y de la clase de filtros usados;

d) Del tiempo de exposición a la luz solar y de la abertura del objetivo;

e) Del color del suelo o del objeto fotografiado, y;

f) Del proceso empleado en el laboratorio fotográfico para el revelado de la película y de la selección del papel para las copias.

Por la importancia del "tono" y la de los factores anteriormente mencionados en la producción del "tono", conviene considerar a éstos por separado, aunque solo sea ligeramente, como se hace a continuación.

a) *Angulo de inclinación de los rayos luminosos.*

La primera de las leyes de reflexión de la luz establece que "el rayo incidente y el reflejado se hallan en los lados opuestos de la normal en el punto de incidencia, y los tres se encuentran en el mismo plano"; y la segunda de dichas leyes determina que "los ángulos de incidencia y de reflexión son iguales".

De este modo, cuando la posición de la cámara aérea en el espacio, al tomarse la fotografía, se halla situada en un punto, de forma que el rayo luminoso reflejado hasta ella desde el objeto, forme el mismo ángulo que el rayo que, procedente de la fuente luminosa alcance al objeto, encontrándose ambos rayos en el mismo plano, la imagen reflejada será clara o blanca del todo, por la gran cantidad de luz que llegará al objetivo de la cámara, mientras que, por el contrario, cuando el ángulo de incidencia no coincida con el reflejado, por ser desiguales, o sea, cuando la lente de la cámara no reciba ninguna luz reflejada o la reciba en pequeña cantidad, la imagen será oscura o totalmente negra.

Por esta razón, una superficie reflejante tersa y brillante, como la de un lago, de un río caudaloso, o la del mar en calma, puede aparecer muy clara y hasta blanca, totalmente o en parte, en una de las fotografías del par estereoscópico y, oscura o negra, en la otra fotografía del mismo par, y en la misma proporción por lo que se refiere a la extensión de las partes afectadas, debiéndose esto a que, en el primer caso, la cámara se encontraba con respecto al objeto fotografiado en el mismo ángulo y plano que la fuente luminosa con relación a dicho objeto y, en tal supuesto, la cantidad de luz reflejada puede ser tan grande que llegue hasta a velar parte del negativo de la fotografía en cuestión, como si fuese proyectada por un espejo; en el segundo caso, por no encontrarse la cámara en el mismo punto en que se hallaba al tomarse la primera fotografía, a causa del desplazamiento del avión que la transporta, el ángulo de reflexión no es igual que el incidente y, por lo tanto, según sea la diferencia entre ambos ángulos, la luz reflejada será menor o nula, resultando así una imagen muy oscura o negra del todo.

Tratándose de superficies reflejantes de tanto brillo como las mencionadas, el fenómeno se repite indefinidamente a lo largo de toda la línea de vuelo, si las condiciones generales del mismo se mantienen, de forma

que, si bien en la segunda de las fotografías ya no alcanzará al objetivo de la cámara la luz reflejada por el objeto situado en el punto de incidencia de la primera fotografía, sí la alcanzará la que refleje el punto de incidencia de la propia segunda fotografía que, a su vez, ya no será captada por la cámara en la tercera fotografía, y así ocurrirá sucesivamente. Es decir, que la imagen blanca y brillante se traslada sucesiva e ininterrumpidamente, sin solución alguna de continuidad en el fenómeno, de fotografía en fotografía correlativa del mismo vuelo, ocupando en todas diferente lugar con relación a la imagen fotográfica, del mismo modo que lo puede hacer la propia del avión deslizándose sobre la superficie del lago, del río o del mar; todos los restantes puntos tendrán desiguales ángulos de incidencia y de reflexión y aparecerán, por ello, con imágenes oscuras o negras en las fotografías.

Este fenómeno se puede experimentar en cualquier vuelo realizado con sol brillante y sobre una extensa superficie de agua. Causa sobre el observador un cegador efecto que impide la visión correcta y la toma de fotografías, sin adoptar previamente las oportunas precauciones. Igualmente, cuando los cuerpos de agua son pequeños, como estrechos ríos con escaso caudal, o bien, cuando se vuela sobre lagunas o ríos más caudalosos a gran altura, en el momento en que el observador aéreo forma con la superficie de dicho cuerpo líquido brillante el mismo ángulo que los rayos solares al incidir sobre ella, se produce un brillante destello, parecido a un relámpago en pleno día que, muchas veces revela la existencia de ese cuerpo líquido, pequeño o lejano, que de otro modo quedaría inadvertido hasta para la observación aérea, de no concurrir dicha circunstancia, a causa de la espesa selva tropical que podría ocultarlo, o por otro motivo cualquiera.

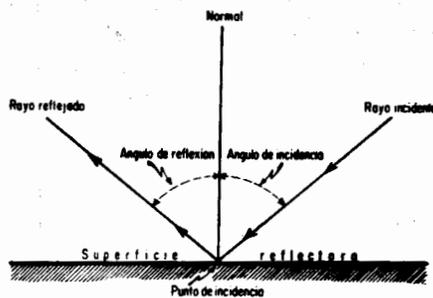


Figura 1

Diagrama mostrando las leyes de reflexión de la luz. (Según F. Walker).

b) *Capacidad de reflexión de la superficie.*

La capacidad de reflexión luminosa de una superficie, es decir, la capacidad para reflejar hacia la lente de la cámara los rayos luminosos que inciden en ella desde la fuente que los origina —que en el caso concreto de la fotografía aérea es el disco solar— depende principalmente:

- 1o.— De la constitución de esa superficie;
- 2o.— Del color de la misma, y;
- 3o.— De la inclinación de dicha superficie con relación a los rayos luminosos.

Las superficies brillantes, suaves y lisas, reflejan la luz con tanta mayor fuerza cuanto mayores y más perfectas sean estas cualidades, constituyendo de ellas el mejor ejemplo natural una superficie de agua tranquila, en cuyo caso la reflexión es directa, o sea, en una sola dirección. Si la superficie del agua —lago, río o mar— se riza por efecto del viento, la cantidad de luz reflejada desciende, por no ser ya directa y verificarse en distintas direcciones. A medida que la superficie aumenta en aspereza y rugoridad, disminuye en capacidad para reflejar los rayos luminosos que reciba. En los casos de superficies aptas para reflejar la luz, las imágenes fotográficas reflejadas son claras y blancas.

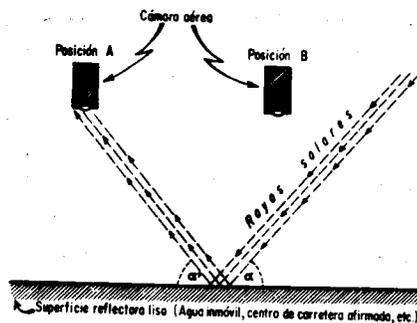


Figura 2

Diagrama mostrando la reflexión de la luz en una superficie lisa. (Según, F. Walker).

Quando la superficie es quebrada o áspera, como ocurre con la mayoría de las que constituyen los ragos terrestres, ya se trate de afloramientos

tos de rocas o de suelos, o de su natural cubierta vegetal, la reflexión luminosa se encuentra en razón directa de su mayor suavidad y en razón inversa de su mayor rugosidad, pues cuanto más abrupto es el terreno es también mayor el número de ángulos de incidencia diferentes a causa de la multiplicidad de superficies irregulares reflejadas. En tal supuesto, las imágenes serán oscuras, pero no uniformemente, sino moteadas o graneadas por puntos blancos y negros u oscuros, con predominio de éstos últimos, lo que producirá un tono promediado oscuro. Los puntos blancos corresponderán a aquellos objetos que se encuentran reflejando la luz que reciban con un ángulo igual al de la luz incidente, y los puntos oscuros o negros a aquéllos otros, mucho más numerosos, en los que dichos ángulos sean desiguales.

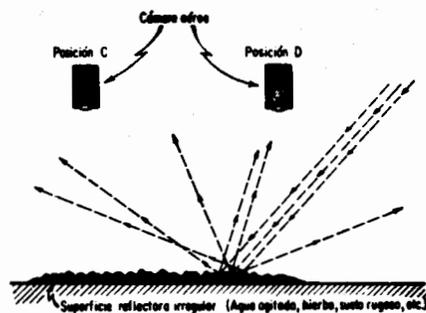


Figura 3

Diagrama mostrando la reflexión de la luz en una superficie irregular. (Según F. Walker).

Las superficies de tono claro correspondientes a los diversos colores del espectro visible, o blancas del todo, son las que mejor reflejan la luz recibida y, en consecuencia, las que producen imágenes más claras y brillantes, entendiéndose por "brillo" de una imagen "la cantidad de luz reflejada más o menos difusamente por una superficie expuesta a la iluminación" (G.C. Brock, 1952). Las superficies cubiertas con óxido de magnesio, casi perfectamente blancas, son, por ello, también casi perfectas para reflejar la luz. Otras materias, como el cristal de ópalo esmerilado, y hasta algunas tan corrientes como el papel secante blanco, constituyen excelentes superficies receptoras, con capacidad para reflejar hasta el 80 por 100 de luz recibida.

Igualmente depende la capacidad reflectora de una superficie, de su inclinación, que será máxima para la que esté colocada en una posición normal a la dirección de los rayos luminosos, y mínima para la posición opuesta, cuando los rayos luminosos incidentes sean rasantes.

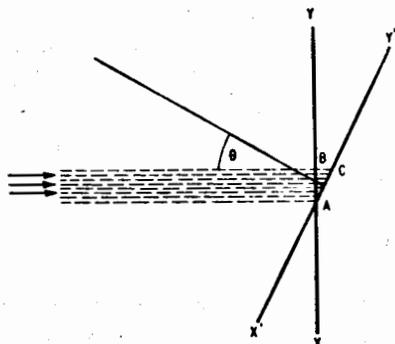


Figura 4

El factor coseno en iluminación. (Según G. C. Brock).

(En la figura anterior, un trazo de luz viaja desde una fuente situada a la izquierda del diagrama e incide normalmente sobre una superficie X Y, en la que A B es un lado de un área elemental. Si la superficie se inclina ahora X'Y', de manera que se forme un ángulo entre la dirección de la luz y la normal de dicha superficie, resulta evidente que la cantidad de radiación originalmente distribuída a lo largo de A B, tiene ahora que cubrir A C, y la nueva iluminación es proporcional a A B / A C, esto es, a coseno θ . La iluminación es máxima para la incidencia normal, y cero para la rasante, donde coseno $\theta = 0$).

c) *Tipo de emulsión y clase de filtros usados.*

El tono gris de la fotografía aérea se relaciona con la emulsión de la película o filme, en el sentido de que depende en gran manera del grano de la misma. Cuanto más gruesa sea la granulación de la emulsión, menor será el contraste que se obtenga y, por lo tanto, los tonos serán menos distintos, con lo que este factor analítico clave carecerá de parte de sus

principales cualidades útiles, en la tarea de identificación de las imágenes fotográficas.

La necesidad de eliminar hasta donde ello sea posible el movimiento aparente de la imagen en la fotografía aérea, mediante la reducción de la exposición, hace que las emulsiones requeridas sean de alta sensibilidad, lo que equivale a tener que aceptar un grano relativamente grueso, ya que, además, la exposición se encuentra grandemente aumentada en duración por el obligado empleo de filtros.

El "grano" de una emulsión está constituido por separadas partículas de plata, como resultado del revelado de un material sensible expuesto a la luz, dominándose "granularidad" a la textura granulosa de una imagen fotográfica revelada, particularmente evidente en las ampliaciones, a causa de la aglomeración de los "granos" revelados o a su superposición.

Por este motivo, las ampliaciones quedan muy limitadas por el grano, ya que al hacerlas aparece éste, privando de definición a la imagen, tanto más cuanto mayor sea la ampliación.

Sin embargo, en la actualidad, este problema provocado por el grano de las emulsiones, como factor limitante de la ampliación del detalle en las fotografías aéreas y, principalmente, en las imágenes espaciales, ya parece resuelto, aunque todavía constituye esta solución un misterio en sus pormenores técnicos, un "top secret". Ciertamente, se han conseguido emulsiones de grano superfino y homogéneas, mediante el empleo de ultrasonidos, tanto en los Estados Unidos como en la Unión Soviética, verdaderas emulsiones, en las que el grano desaparece totalmente, y que permiten ampliaciones de la imagen, sin pérdida de su definición, de 50X, 100X y más aumentos. Ejemplos de estas ampliaciones se pueden ver con bastante frecuencia en algunas revistas y boletines científicos, principalmente norteamericanos.* Estas magníficas emulsiones fotográficas todavía se encuentran fuera del comercio corriente y lo estarán hasta que otros progresos técnicos y científicos, permitan que trasciendan al exterior, por resultar ya anticuadas.

Esto se explica por la estrecha ligazón existente entre la teleinterpretación y ciertas actividades de información de ella dependientes, que constituyen funciones vitales para la seguridad de las grandes superpotencias (F. Guerra Peña, 1975).

En la fotografía aérea siempre se usan filtros, salvo cuando se trate de vuelos a escasa elevación, tanto para realzar el contraste —factor muy importante en algunas técnicas de interpretación fotográfica aérea, entre las que destaca la fotogeológica— como para eliminar el "velo atmosférico".

* Como "Photogrammetric Engineering and Remote Sensing", "Scientific American", "Science", "National Geographic Magazine", etc.

rico".* No debe olvidarse que el ojo humano no registra los mismos colores que las emulsiones, las cuales son sensibles a la luz ultravioleta y a la infrarroja, imperceptibles para aquél órgano.

Los filtros se emplean, además de para lograr el contraste deseado y eliminar el "velo atmosférico", para obtener rendimiento corregido, por este medio, del color. Con este objeto se utilizan principalmente filtros amarillos y rojos, para cuyo uso ya se producen las emulsiones modernas, no solamente con una alta sensibilidad al color rojo, sino con pequeños factores de multiplicación de la exposición, lo que permite el uso de dichos filtros con filmes de granulación fina, que pueden registrar hasta los más pequeños detalles.

Los filtros anaranjados y rojos se emplean especialmente para las fotografías tomadas a gran altura, como las hechas desde cohetes y satélites artificiales. En casos especiales de nieblas secas y de espejismos se utilizan filtros de polarización, (Eastman Kodak Company, 1923).

La eliminación del filtro en las fotografías bajas hace que éstas pierdan tonalidad, principalmente cuando se trate de rasgos de color verde.

Las emulsiones infrarrojas, descubiertas en 1890 por O. N. Rood y por Wood, en 1910, son de capital importancia en la fotografía aérea, pues resultan inmejorables para obtener fotografías claras desde el aire. Las primeras pruebas a larga distancia —135 millas en el valle Yosemite, California— fueron hechas por Wright, en 1924, con pleno éxito. Aunque no permiten registrar imágenes a través de las nubes o de la lluvia, sí lo hacen a través de la bruma atmosférica, aunque ésta impida la visión al ojo humano. Además, rinde detalles claros de los objetos distantes. Su sensibilidad es cuatro veces más lenta que la de las emulsiones ordinarias.

En la película infrarroja, el cielo se registra muy oscuro, particularmente en el horizonte, mientras que las nubes aparecen notablemente blancas, lo que las hace contrastar extraordinariamente con el negro cielo. Las nubes menos densas que los cúmulos, más tenues y altas, como los cirrus, que no registran las emulsiones ordinarias, son captadas por la emulsión infrarroja.

Esta clase de emulsión está contraindicada en zonas verdes, especialmente en superficies cubiertas por hierbas o por árboles de hoja caduca, pues entonces estos rasgos se muestran casi blancos, como si estuvieran cubiertos de nieve. Por el contrario, las coníferas se muestran oscuras, y esta circunstancia sirve para distinguirlas de los árboles de hoja caduca. En las zonas de altas montañas, donde no hay vegetación, la película infrarroja es inmejorable.

* En alemán se denomina gráficamente "Luftlicht", o "luz del día".

d) *Tiempo de exposición a la luz solar y abertura del objetivo.*

El tiempo de exposición y correlativa abertura del objetivo en el momento de tomar la fotografía, se refleja en el tono de la misma, a causa de que el poder de resolución de la emulsión aumenta con la reducción de la abertura del diafragma del objetivo, y de que dicha capacidad de resolución disminuye con la sobre-exposición o con la sub-exposición. Por tales motivos, el fotógrafo aéreo deberá calcular la abertura mínima del objetivo, y la exposición máxima compatible con el movimiento aparente de la imagen, a fin de lograr una negativa con la densidad requerida.

La abertura del diafragma y la duración de la exposición dependen de varios factores, como son:

- 1o.—Las variaciones regulares en la calidad e intensidad de la luz diurna;
- 2o.—Las variaciones irregulares en el brillo efectivo del sujeto a causa de cambios en las condiciones atmosféricas;
- 3o.—Las características o capacidad reflectora del objeto.
- 4o.—La altura del avión, y;
- 5o.—La sensibilidad de la emulsión.

Las variaciones regulares en la intensidad de la luz pueden ser diurnas y anuales —dependiendo éstas últimas, principalmente, de la altura del sol sobre el horizonte— las cuales pueden ser calculadas con anticipación para cualquier hora y lugar del planeta. Las variaciones irregulares se deben a cambios del tiempo y del estado del cielo, por bruma, nubes, lluvia, etc.

Desde hace mucho tiempo se ha medido la intensidad de la luz diurna —Hurter y Driffield, 1885-86— y, desde entonces, se han hecho los correspondientes cálculos para la construcción de tablas de exposición. Para la fotografía aérea las confeccionaron G. C. Brock y J. B. Reid, en 1941, utilizando los datos publicados por Elvegard y Sjostedt. Posteriormente, en 1942, Jones y Condit prepararon las American Standard Exposure Tables.

Según estos estudios se ha podido precisar que las variaciones regulares en la calidad y en la intensidad de la luz diurna se deben:

- 1o.—A la distancia de la tierra del sol;
 - 2o.—A la altura del sol, es decir, a la distancia angular de dicho astro sobre el horizonte, que determina el ángulo con el que la luz solar alcanza la tierra, y también;
 - 3o.—Al espesor de la atmósfera atravesada por la luz solar.
- Las variaciones de la distancia que separa la tierra del sol, afectan a la

intensidad de la luz en 7 por 100, como máximo y, por lo tanto, sus efectos son inapreciables, desde el punto de vista de la fotografía aérea. En cuanto a la altura del sol se calcula fácilmente mediante una fórmula familiar a los marinos y a los astrónomos, que no es del caso reproducir aquí.

De la altura del sol depende el espesor efectivo de la atmósfera, denominada "masa aérea", la cual se calcula mediante la fórmula de Bemporad, en la que se considera la refracción de la luz. Se toma como unidad el ángulo 0 del cenit. Como se puede ver en la tabla que sigue, se produce poco cambio en la "masa aérea", cuando el sol se encuentra a gran altura, pero a medida que el sol declina, aumenta rápidamente la "masa aérea".

TABLA 1

Altura del sol (en grados)	5	10	20	40	60	90
Masa aérea	10-40	5-60	2-90	1-55	1-15	1.00

La iluminación de cualquier punto de la superficie terrestre depende de dos componentes: de la luz directa que procede del sol en línea recta, y de la difusa luz celeste. Además, un factor secundario de iluminación procede de la reflexión de las fuentes primarias desde los objetos terrestres. En días claros, la luz solar es mucho más fuerte que la celeste, si bien su intensidad relativa depende de la altura del sol sobre el horizonte, y del estado atmosférico. A 40° de latitud y en día claro, la luz celeste sólo alcanza a una cuarta parte de la luz solar, pero a medida que el sol desciende al ponerse, o bien, cuando comienza a elevarse al salir, la luz celeste es más fuerte que la solar, hasta que el astro diurno alcanza aproximadamente 5° sobre el horizonte, en que ambas se equilibran.

Las variaciones irregulares de las condiciones atmosféricas normales, afectan en alto grado, tanto a la calidad como a la cantidad de la luminosidad en la fotografía aérea. Dichas condiciones normales, es decir, cielo azul sin nubes, con bruma imperceptible o muy poca bruma, no son corrientes. La cantidad máxima de nubes tolerable en la fotografía aérea, es de 2/10, lo que supone la presencia de nubes en la fotografía hasta esa máxima proporción, rotas o fraccionadas, de forma que permitan la visión de un área razonable de superficie terrestre directamente iluminada por el sol. La bruma, cuando sea densa, oscurecerá el disco solar y eliminará las sombras, reduciendo la iluminación, lo que obliga a aumentar el tiempo de exposición. Cuando la bruma no es densa, intercepta parte de la luz directa del sol, pero la luz diseminada ilumina las sombras. La densidad de la bruma decrece con la altura, por lo que existe la tendencia

a que la atmósfera sea más clara sobre el avión en vuelo; que debajo de él, al tomarse las fotografías. Por esta razón, las fotografías aéreas tomadas a gran altura en tales condiciones, resultan de poco valor, a causa de la ausencia de sombras que marquen los contrastes y el relieve.

Por lo general, el tiempo de exposición y la consiguiente abertura del objetivo de la cámara, no se gradúan en la fotografía aérea por medio de fotómetros o exposímetros, y sí mediante el empleo de tablas en las que se han calculado todos los factores que intervienen en la luminosidad de la escena aérea.

La capacidad de reflexión del objeto fotografiado, en el caso de la fotografía aérea, el suelo o superficie terrestre, depende de la naturaleza del mismo, clasificándose los objetos de acuerdo con la cantidad relativa de luz y de sombra, que tengan.

En cuanto a lo que se refiere a los efectos de la altura del avión al tomarse las fotografías, sobre la luminosidad de la escena, ésta se encuentra influida por los dos factores siguientes:

- 1o.—El aumento de la densidad de la bruma debajo del aparato, al elevarse éste, con lo que las sombras van disminuyendo hasta hacerse imperceptibles, y;
- 2o.—La disminución de la escala de la fotografía aérea, que tiende a producir un aumento en el brillo promedio de la escena al disminuir las sombras, superior al brillo promedio de las fotografías de escala grande, lo que demuestra que la exposición se acorta con la altura. C. G. Brock (1952) estima que la exposición correcta a gran altura, unos 20,000 pies, debe doblarse por debajo de los 5,000, y volverse a doblar por debajo de los 1,000 pies, prescindiéndose en éste último caso, del empleo del filtro para eliminar la bruma, por resultar innecesario.

En la fotografía aérea a baja altura se necesita una mayor sensibilidad en la emulsión, tanto por ser las sombras más oscuras —ya se ha visto que las sombras decrecen con el aumento de elevación, lo que exige una exposición más larga— como por el mayor movimiento de la imagen, lo que también obliga a dar una mayor velocidad al obturador. Fácil resulta comprender el aumento de sensibilidad que requiere la emulsión, cuando a 1,000 pies se necesita aumentar cuatro veces el tiempo de exposición que se requeriría a 20,000. En estos vuelos a baja altura, la exposición suele ser de 1/500 de segundo y, a veces, más rápidas aún, mientras que la exposición corriente viene a ser de 1/150, no pasando nunca de 1/50. A 20,000 pies puede alargarse la exposición hasta 1/5 de segundo.

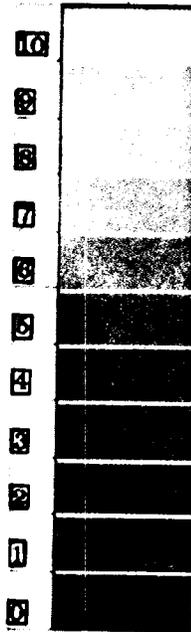
El movimiento de la película es proporcional al de la imagen, con objeto de compensar éste de un modo continuo y, en ciertas cámaras diseñadas para hacer fotografías más precisas, al mismo tiempo que se mueve ligeramente la película, se mueve también la lente de la cámara.

e) *Color del suelo o del objeto fotografiado (Tono asoluto).*

El color que ofrece el suelo, o el de los objetos que, encontrándose sobre el mismo son fotografiados desde un avión en vuelo, es el denominado "tono absoluto", con referencia al que se presenta en forma de tonos del gris en las películas en blanco y negro, o "tono relativo", como ya se indicó con anterioridad.

Existe una correspondencia entre los colores del espectro visible, o sea, aquéllos en que se descompone la luz blanca, y los diversos matices del gris, desde el blanco al negro. De las escalas que se han confeccionado para correlacionar unos con otros, los colores con sus respectivos tonos de gris, la más efectiva es la denominada "Sistema de Color Munsell" o, simplemente, "Escala Gris Munsell", que es una escala de brillo de los diversos tonos de gris, desde el negro hasta el blanco.

Escala Gris de Munsell



Tiene esta escala once divisiones, con el blanco en la parte superior, numerada 10, y el negro en la inferior, con el 0. En dicha escala, el valor más claro de cualquier color se encuentra en el lugar más próximo al

blanco, mientras que el más oscuro se halla en el más inmediato al negro. El amarillo, por ejemplo, tiene un valor 8, cerca del blanco 10, mientras el rojo sólo tiene de valor 4, más próximo al negro ó 0. Basándose en esta correspondencia, los colores se dividen en "claros" y "oscuros", según la cantidad de blanco o negro que contengan, es decir, según su apariencia al ser expuestos a la luz blanca, débil o fuerte, lo que permite a los primeros reflejar mejor su propio color que los segundos, con preferencia de otros colores. Así, el azul-verde, refleja sólo el 40 o el 50 por 100 de su propio color y absorbe, claro está, el resto, reflejando también algo de rojo que refleja el brillo del azul-verdoso, mientras el rojo-magenta refleja el 70 o 75 por 100 de su propio color que, a su vez, es rebajado por un 20 por 100 de verde. El amarillo, que es el más eficiente, refleja del 80 al 85 por 100 de su color propio y, algunos pigmentos amarillos llegan a reflejar hasta el 97 por 100 (Bond, 1955).

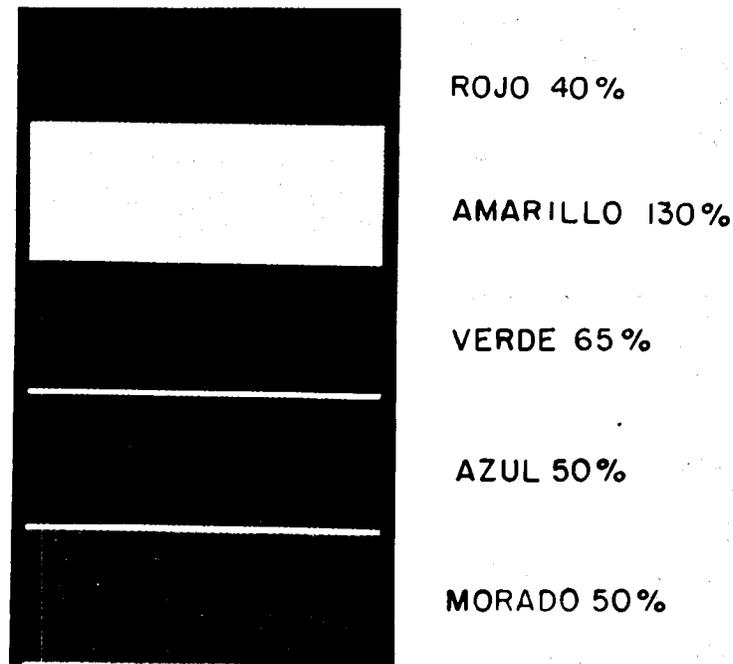


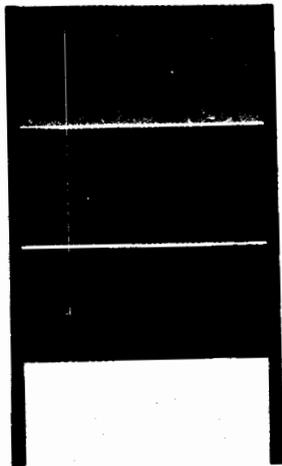
Figura 6

Poder relativo de reflexión de cinco principales colores. Gris neutro igual 100 por 100. (Según F. Bond).

Al hacer esta valoración correlativa de los diversos colores, es necesario tener presente:

- 1o.— Que, diferentes colores, aunque sean del mismo material y textura no reflejan igual porcentaje de luz incidente;
- 2o.— Que, texturas diferentes, aunque sean del mismo color tampoco reflejan igual cantidad de luz incidente, y;
- 3o.— Que, el valor o grado de brillo de los diferentes colores normales intensos, es mayor bajo la luz fuerte (luz solar plena) y, que el valor de dicha escala se acorta a medida que decrece el volumen de luz incidente.

El "tono relativo" que, en los diversos matices del gris, presentan los diversos colores en las fotografías en blanco y negro, depende, por lo tanto, del hecho de que los colores no reflejan el 100 por 100 de su propio color, como ya se ha visto, y de que el porcentaje de absorción del propio color varía mucho de un color a otro, y de un material a otro distinto, o bien de una textura a otra, dentro del mismo color. Esta es la razón por la que los verdes aparecen en tonos muy oscuros en las fotografías aéreas o en las terrestres con vegetación abundante, viéndose muy distintos a como se ven con los ojos, siempre que no se use el filtro correspondiente. En cambio, el rojo, reflejando el 90 por 100 y, sobre todo, el amarillo, reflejando el 97 por 100 de su propio color, aparecen más semejantes a como los apreciamos con la vista.



CARTULINA GRIS, 100%

CARTULINA ROJA, 40%

TERCIOPELO ROJO, 16%

CARTULINA AMARILLA, 130%

Figura 7

Valor relativo de reflexión de dos materiales y superficies del mismo color, comparados con el gris neutro y una cartulina amarilla de extremo alto poder reflexivo. (Según F. Bond).

f) *Proceso de revelado y selección del papel para la positiva.*

Influye en el "tono relativo" de las fotografías aéreas en blanco y negro, tanto el proceso que se siga en el revelado de las negativas, como la selección del papel para obtener las positivas o copias de contacto de las negativas. Estos factores son mucho más importantes en la fotografía aérea que en la terrestre o convencional, a causa de la gran cantidad de pequenísimos detalles que es necesario preservar, si se quiere que sirvan para la identificación e interpretación de los rasgos que representan. Del revelado y de la copia definitiva final que se obtenga depende, en gran manera, el "tono" de la fotografía, considerado como clave analítica.

Los reveladores usados en el proceso de fotografías tomadas a gran altura deben poseer varias cualidades indispensables, entre las que destacan: a) que sean capaces de rendir un buen contraste; b) que reúnan buenas condiciones para su almacenamiento; c) que puedan alcanzar larga duración, y; d) que sean de efectos rápidos.

Por lo tanto, en el proceso de revelado de las fotografías aéreas, es necesario utilizar los reveladores conocidos como de grano fino, con objeto de reducir la granulación, factor que limita en gran manera la percepción del detalle en esta clase de fotografías. No obstante, cuando se emplean reveladores de grano ultra-fino, pierden gran parte de su velocidad y producen contrastes bajos. Este contraste de las negativas puede aumentarse prolongando el tiempo de revelado, aunque ello lleva aparejada la disminución del poder de resolución de la negativa.

Por lo que respecta a la positiva o copia de contacto, puede aceptarse como regla, la de que "es buena aquella que reproduce todo el detalle de la negativa", prescindiéndose, para otorgar, tal calificación, de toda consideración de orden personal o artístico. Esto quiere decir, que el poder de resolución de la positiva debe ser el mismo de la negativa correspondiente, pero no inferior, calidad que se encuentra hacia la mitad de la "escala de tonos grises", donde no se pierde ningún detalle o se pierde muy poco.

Las buenas positivas aéreas deben tener fondo o base blanco, imagen negra, y una superficie satinada. Aunque el papel de brillo acentúa la fuerza de resolución de la positiva, la dificultad de efectuar anotaciones con lápiz en su superficie, hace que se prefiera el papel semi-mate que, al mismo tiempo que conserva parte del poder de resolución del papel brillante, permite realizar todo género de anotaciones con cualquier especie de lápiz en su superficie. La experiencia, no obstante, aconseja la obtención de positivas de un tono gris suave, sin áreas blancas ni negras, por su poder resolutivo superior, tanto en la zona de sombras como en las muy iluminadas (G. C. Brock, 1952), así como por facilitar dichas

copias de suave gris, la confección de mosaicos fotográficos aéreos y por reproducir más exacta y fielmente la realidad de la vista aérea. De este modo, en las positivas aéreas debe desterrarse el negro, sustituyéndolo por el gris medio, siendo esta característica una de las que distingue a la fotografía aérea de la convencional terrestre, en las que casi siempre se encuentra el negro en todas las escenas.

Aunque las mejores positivas aéreas son las transparentes de cristal, para las que existen almacenes portátiles especiales con capacidad de hasta 200 placas (Chombart de Lauwe, 1956), su incómodo manejo ha hecho que se utilicen casi exclusivamente las positivas de papel, reservándose las transparentes de vidrio para usos particulares, como las que se emplean en determinados instrumentos cartográficos.

En la impresión de copias positivas se emplea exclusivamente la luz artificial.

En la selección del papel de la positiva es necesario equilibrar el grado de densidad de la negativa y el grado de contraste conveniente de dicha positiva. Para obtener tal resultado, se fabrican papeles de diverso grado de contraste, que se ajustan a la densidad de la negativa, ya que con el solo revelado no se puede variar mucho el contraste de los papeles fotográficos. Facilita este ajuste de la densidad de la negativa al contraste de la positiva, el papel fotográfico llamado "de contraste variable", en el que se conjugan en una sola capa de emulsión, cinco o más grados de contraste. También puede emplearse papel de un solo grado de contraste, pero utilizándolo con filtros amarillos o azules en la impresión de la positiva, operación que ofrece grandes ventajas sobre el uso de papeles graduados, ya que, de este modo se pueden obtener gradaciones intermedias que, en ocasiones, son las más convenientes para el análisis de las fotografías aéreas, y que no se pueden lograr con los papeles corrientes.

De todo lo dicho anteriormente sobre el "tono", se desprende la Primera Regla Fundamental de la Interpretación Fotogeológico, que dice:

"LOS OBJETOS COLOREADOS DE LA NATURALEZA REFLEJAN SUS PROPIOS COLORES CON DIFERENTE INTENSIDAD QUE DEPENDE, NO SOLO DE LA CANTIDAD QUE DEL PROPIO COLOR ABSORBAN, SINO DE LA CONDICION MATERIAL Y TEXTURA DE DICHS OBJETOS; TALES COLORES O TONOS ABSOLUTOS, SE CORRESPONDEN CON LOS DIVERSOS MATICES DEL GRIS, O TONOS RELATIVOS, EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS EN BLANCO Y NEGRO, POR CUYO MOTIVO PUEDEN IDENTIFICARSE LOS COLORES NATURALES POR SU CORRESPONDIENTE TONO GRIS EN QUE APARECEN TRANSFORMADOS EN DICHS FOTOGRAFIAS Y, DE AHI, DEDUCIR LA VERDADERA IDENTIDAD DE LOS

RASGOS GEOLOGICOS, EN CUANTO ESTOS PUEDAN SERLO POR SU COLOR”.

2.— TEXTURA.

El Diccionario de la Lengua Española, define la “textura —en su cuarta acepción, relativa a la Historia Natural— como “la disposición que tienen entre sí las partículas de un cuerpo”. Aunque esta definición no es precisamente fotográfica, sí puede aplicarse por extensión a las fotografías aéreas y como punto de partida para precisar el concepto de “textura fotográfica”, sobrentendiéndose que se trata en este caso, de las apariencias que en las imágenes fotográficas muestren dichas partículas en las diferentes disposiciones que pueden adoptar.

Fué Eardley (1942), quien al tratar del “tono” de las fotografías aéreas, llamó la atención sobre la esencia de la “textura” en las imágenes fotográficas aéreas, al señalar el hecho de que “algunas aparentes diferencias de tono se debían realmente a la distinta naturaleza de la textura”. De este modo y, como un derivado del “tono” gris de la fotografía aérea, surgió la “textura” de tales fotografías; por un lado, como generadora del “tono”, en ocasiones y, por otro, como un nuevo factor analítico, constitutivo de una regla fotointerpretativa.

Poco después, H. T. U. Smith (1943), definió la “textura” de las fotografías aéreas, como “la compuesta apariencia presentada por unidades de rasgos agregados demasiado pequeños para ser individualmente distintos”, criterio seguido posteriormente por Ray (1956), Krynine y Judd (1957), y Bomberger y Dill (1960), entre otros.

Por su parte, Colwell (1952), relacionándola con el “tono” —como Eardley— hace otra definición de “textura”, al decir que “es la frecuencia de cambio de tono dentro de la imagen”. Esta definición sufre una pequeña modificación en el “glosario” del “Manual of Photogrammetry”, que añade “es la frecuencia del cambio o distribución de los tonos”.

Rabben (1960), combina ambos criterios, definiendo la “textura”, como “las repeticiones tonales en grupos de objetos demasiado pequeños para ser individualmente discernibles”.

Según Fitch, Christie, Johnstone y Whittle (1951), la “textura”, constituye, con el “tono” y la “forma”, la única pauta utilizable en el estudio de las fotografías aéreas.

Para H. T. U. Smith (1943), la “textura” es el producto de los tonos individuales, así como del tamaño, espaciamiento, distribución y efectos de las sombras en las imágenes. Puede apreciarse así, la estrecha correla-

ción existente entre todos estos diferentes factores analíticos, derivada del hecho de ser unos producto de los otros, como ocurre en el caso de la "textura", con respecto al "tono", principalmente.

Desde puntos de vista más particulares, y considerada la "textura" en relación con las diversas especialidades técnicas y científicas que pueden utilizarla como guía en sus análisis, ofrece en ocasiones ventajas inmejorables.

En los análisis fotogeológicos reviste particular importancia el estudio de las "texturas", por ser muchas de ellas típicas, no sólo de rasgos y fenómenos geológicos, sino de determinada clase de rocas y aún de formaciones. Las rocas sedimentarias suelen presentar específicas "texturas", y lo mismo ocurre con gran parte de las ígneas, de forma que, con esta sola clave resulta a veces factible identificarlas*, así como trazar el contacto entre dos formaciones por la simple distinción de sus respectivas texturas. Según Eardley (1942), este factor analítico es particularmente importante en las regiones húmedas cubiertas por gruesos suelos, donde existen escasos afloramientos.

La "textura" es también muy importante en los análisis fotogeohidrológicos. En las regiones secas, así como en las semihúmedas y, principalmente, en las húmedas, el agua subterránea se refleja en la superficie con características típicas registrables en las fotografías aéreas, en muchos casos, dando lugar a particulares "texturas", que evidencian la existencia de tal humedad en el subsuelo. No obstante, resulta también imposible identificar individualmente los rasgos que, juntos y combinados, dan lugar a dichas "texturas". En las regiones áridas, y a falta de escurrimiento superficial conclusivo, es la "textura" la única guía utilizable en esta clase de estudios, tanto más valiosa cuanto que son menores las posibilidades, tanto de localización del agua subterránea, como del empleo de claves que faciliten dicha localización.

Igualmente es muy valiosa la "textura", cuando se trata de establecer la correlación vegetación-suelo-roca, puesto que ella refleja, al mismo tiempo que las rocas, la vegetación y los suelos. (Eardley, 1942). Así, por su "textura" se puede determinar la composición forestal en fotografías aéreas de escala pequeña, y las características individuales de los árboles en las fotografías de escala grande, facilitando así la mencionada correlación.

En las fotografías de escala intermedia, la combinación del estudio de la "textura" con la del tipo o patrón, es decir, de la distribución y arreglo espacial de objetos distintos o separados, ayuda poderosamente al interés

* No debe confundirse la "textura" de las imágenes fotográficas aéreas, con la textura de las rocas o suelos.

prete en su trabajo (Wilson, 1960). Abunda en la misma opinión, Tator (1960), quien manifiesta que, muchas veces, "la "textura" se produce por la repetición de las imágenes de plantas individuales o partes de plantas, en fotografías de una escala dada".

De este modo, serán diferentes las texturas presentadas por áreas cubiertas de vegetación y aquéllas otras que carezcan de manto vegetal, del mismo modo que, entre las primeras, y dada la determinante influencia del clima sobre la vegetación, también serán distintas, según que correspondan a zonas cálidas, templadas, o frías. En las regiones desérticas, las arenas que las cubren, y que en las fotografías aéreas constituyen un conjunto de rasgos infinitamente pequeños e imposibles, por ello, de ser observados aisladamente, se identifican por su "textura", del mismo modo que se reconocen por sus texturas características, todos los demás tipos de suelos y de vegetación. El estudio de la "textura" presentada por las copas de los árboles, en unión de la determinación de la altura y diámetro de los mismos, constituyen las principales claves de la interpretación forestal, la que, a su vez, facilita al edafólogo y, sobre todo, al geólogo fotointérprete, evidencias sobre la condición de los suelos.

La "textura" se suele designar con diversas denominaciones de índole descriptiva que, en cierto modo, caracterizan las imágenes de los rasgos que las producen. Así, hay "texturas toscas" y "finas", "ásperas" y "suaves", "iguales" o "uniformes", y "desiguales", "variadas", "moteadas", "punteadas"; o "rayadas", "lineales", "granulares", "esponjosas", "lanosas" o "algodonosas", "jaspeadas", etc.

Las arenas presentan una "textura suave e igual" o "uniforme", mientras los pastizales la ofrecen también "suave y uniforme", pero más o menos "punteada". Los bosques se caracterizan por su "textura áspera o rugosa", o "granular", cuyo grado depende del carácter de los árboles que los forman y de su etapa de crecimiento; muchas rocas ígneas intrusivas exhiben una "textura enmarañada", mientras las de otras es "rayada uniforme o cruzada", originadas por los sistemas de pequeñas juntas o diaclasas; las rocas sedimentarias estratificadas horizontalmente, más o menos, suelen tener "textura jaspeada"; los flujos de lava y algunos tipos de dunas tienen características "texturas", así como los depósitos de gravas, etc.

Estas diversas "texturas" que aparecen en las fotografías aéreas, como parte integrante de sus imágenes, se encuentran afectadas por varios factores, intrínsecos a las propias fotografías unos, y extrínsecos, otros. Entre los primeros cabe contar con el "grano" —tanto de la emulsión de la película utilizada como del papel empleado para obtener la copia de contacto o, en su caso, de la amplificación— pero, sobre todo, con la "escala" de la fotografía.

La "escala" hace variar la textura, de forma que rasgos imposibles de

identificar en una fotografía de escala pequeña, podrán ser individualizados, en caso favorable, en fotografías de escala grande, lo que motiva una diferencia de "textura" en ambas fotografías, consideradas una en relación con la otra, al espaciarse de distinta manera esos ramos combinados y, a veces, inseparables, que las constituyen. Es decir, que a medida que la escala fotográfica disminuye progresivamente, la "textura" de un objeto dado se va haciendo más y más fina, hasta desaparecer eventualmente, lo que no quiere decir que las fotografías de pequeña escala no tengan "textura". Quiere decir, simplemente, que el tamaño requerido de un objeto para influir en la "textura", aumenta a medida que la escala fotográfica disminuye. De este modo, en las fotografías a escala muy grande, de áreas boscosas, las hojas de los árboles contribuyen a integrar la "textura" de las ramas, que en tales fotografías son individualmente discernibles, mientras que en las fotografías de escala intermedia, son las ramas de los árboles las que contribuyen a integrar la "textura" de las copas de los árboles y, finalmente, en las fotografías de escala más pequeña, son las copas de los árboles las que concurren a integrar la "textura" de la totalidad de la plantación o bosque (Colwell, 1952). Dentro de un determinado límite de escalas, la "textura" de un grupo de objetos —como los que forman una plantación arbórea compuesta por ciertas especies— puede ser lo suficientemente distintiva como para servir de importante clave que permita la identificación e interpretación de dichos objetos (Rabben, 1960).

Esto es lo que ocurre en fotogeología, en donde una malla de finas líneas, por ejemplo, que forma "textura" en una fotografía aérea tomada a gran altitud, puede ser perfectamente interpretada en una fotografía de baja altura, como sistemas de juntas (Ray, 1956).

Entre los factores extrínsecos que afectan a la "textura" de las fotografías aéreas, es la "sombra" el más importante de todos. En ocasiones, la "sombra" no solo afecta a la "textura", sino que es la determinante de ella, como ocurre en casos de "sombras" proyectadas por árboles altos y delgados en bosques claros, o en bosques más espesos de hoja caduca, en invierno, cuando las fotografías han sido tomadas por la mañana temprano o a la caída de la tarde, mientras el sol está bajo y las sombras son largas. En realidad son las sombras alargadas de los árboles y no los árboles mismos, los que constituyen, por así decirlo, el "tejido" de la "textura", dando lugar a una "textura rayada y uniforme", por inclinarse todas las sombras de los árboles en el mismo sentido, tal y como se registra en los grandes pinares, principalmente en las regiones septentrionales —Canadá y Unión Soviética— de nuestro planeta.

Para De Blieux (1951), la "textura" es también efecto de menores desigualdades del relieve, de forma que las diferencias mínimas de éste,

se reflejan como anomalías en los valores de la "textura", tal y como sucede en los casos de domos salinos. Los grandes campos cultivados ofrecen "texturas" especiales, según los cultivos, y hasta los surcos del arado tienen "textura" típica (F. Walker, 1953).

Este factor analítico es también de gran importancia, no solo en la tarea de identificación directa de las mágenes de las fotografías aéreas, sino en la de verificar correlaciones entre las mismas, mediante la comparación de "texturas" aparentemente idénticas, para la identificación indirecta de las imágenes fotográficas que las constituyen. Gracias a estas correlaciones de "texturas", se pueden identificar, a veces, imágenes muy distantes, aunque siempre se encuentran condicionadas estas correlaciones a las circunstancias regionales dominantes, principalmente de carácter climático.

Cuando la correlación fotogeológica de "texturas" se efectúa sin solución de continuidad, los resultados son más exactos y el método más fácil de aplicar a lo largo de muchos kilómetros y con gran seguridad, por tratarse de áreas contiguas y, por lo tanto, sometidas a las mismas influencias externas apuntadas en términos generales. Cuando la distancia entre la zona cuya "textura" sirve de clave para la identificación, y aquella que se trata de correlacionar con ella, aumenta, las dificultades crecen y exigen mayor cautela del intérprete. Por lo tanto, tales correlaciones de "textura" sólo pueden llevarse a cabo dentro de ciertos límites, tras pasados los cuales resultan, por lo general, imposibles.

La "textura", como el "tono", es un factor analítico que nunca falta en la fotografía aérea, por ser elemento constitutivo de la misma. Esto, unido al hecho de que las imágenes de las fotografías suelen estar dotadas de "texturas" características, hace que siempre se pueda disponer de este seguro medio de identificación y subsiguiente interpretación, en el análisis de las fotografías aéreas.

De esta apariencia compuesta se desprende la Segunda Regla Fundamental de la Interpretación Fotogeológica, que dice así:

"LOS RAGOS DE LA SUPERFICIE TERRESTRE QUE, POR SU INMENSO NUMERO Y DIMINUTO TAMAÑO RELATIVO, NO PUEDEN IDENTIFICARSE AISLADAMENTE EN SUS CORRESPONDIENTES IMAGENES FOTOGRAFICAS AEREAS, COMO OCURRE CON LAS ARENAS EN UN DESIERTO O CON LAS HIERBAS EN UNA PRADERA, OFRECEN EN SU CONJUNTO UNA APARIENCIA TIPICA EN CADA CASO, QUE CONSTITUYE LO QUE SE DENOMINA TEXTURA DE LA FOTOGRAFIA AEREA, POR LA QUE PUEDEN IDENTIFICARSE AQUELLOS RASGOS GEOLOGICOS COMBINADOS, IMPOSIBLES DE INDIVIDUALIZAR, CUANDO TIENEN UNA TEXTURA PARTICULAR Y DEFINIDA".

3.— MICROTEXTURA.

Constituye una variante de la "textura", que se produce cuando se observan las imágenes de las fotografías aéreas con grandes magnificaciones, por medio de estereoscopios microscópicos o microestereoscopios.

El uso de estos instrumentos, paralelamente al de las emulsiones de grano extraordinariamente fino obtenidas por medio de ultrasonidos, que los complementan, se encuentran todavía fuera del comercio, pero no por ello han dejado de abrir un inmenso horizonte a la fotointerpretación, en general, y a la fotogeológica, en particular, cuando sean fácilmente asequibles para el común de las gentes. Esta combinación de microestereoscopio y de emulsión ultrafina, permite detectar, por decirlo así, la "textura o tejido de la textura", es decir, la "microtextura" de rasgos geológicos básicos, como es la misma textura de las rocas.

Aunque estos instrumentos y emulsiones correspondientes, todavía solo son usados oficialmente en los países que los producen —salvo pequeñas excepciones, como la posibilidad de adquirir microestereoscopios con aumentos de X20 y X95 que, por otra parte, no pueden usarse en el exterior por falta de la emulsión fílmica paralela —no por eso dejan de constituir una profunda revolución técnica y científica en el campo de la interpretación fotogeológica, por lo que la Tercera Regla fundamental dice:

"EL USO DE ESTEREOSCOPIOS MICROSCOPICOS O MICROESTEREOSCOPIOS, QUE PERMITEN GRANDES MAGNIFICACIONES DE LAS IMAGENES FOTOGRAFICAS AEREAS, LOGRADAS CON EMULSIONES DE ULTRASONIDO, HACEN POSIBLE LA OBSERVACION DE RASGOS TAN EXTRAORDINARIAMENTE PEQUEÑOS QUE, QUE POR DECIRLO ASI, CONSTITUYEN LA "TEXTURA O TEJIDO DE LA TEXTURA", ES DECIR, LA "MICROTTEXTURA", IMPOSIBLES DE PERCIBIR POR NINGUN OTRO MEDIO, LO QUE ENCIERRA UN EXTRAORDINARIO VALOR FOTOGEOLOGICO".

Observaciones generales sobre las reglas del segundo grupo.

"Forma", "tamaño", "sombra" y el "tipo o modelo de configuración", además de "relaciones con objetos o rasgos asociados" y "microrrasgos no topográficos", integran una unidad de reglas 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". Estos factores son a su vez el material que constituye el "tipo o modelo de configuración" que, a su vez, está determinado

por las "relaciones con objeto o rasgos asociados", con su apéndice obli-
gado, los "microrrasgos no topográficos".

Estas reglas, que se desprenden de características inherentes a los ob-
jetos, principalmente artificiales, que aparecen en las fotografías aéreas,
son de aplicación, más que a la interpretación fotogeológica propia-
mente dicha, a cualquier otra clase de análisis que tenga interés en el
conocimiento de tales objetos, pero se incluyen aquí, por constituir
un segundo punto de partida para el estudio fotogeológico, tanto para
ayudarlo directamente en su desarrollo, como para prepararlo en su la-
bor previa de identificación general de todos los rasgos registrados en la
fotografía aérea, independientemente del valor geológico que contengan.

4.— *FORMA.*

La "forma" que aquí se considera es sinónimo de "figura", es decir, de
la "figura externa" de los objetos cuyas imágenes registran las fotogra-
fías aéreas y demás documentos gráficos de teledetección.

Este factor analítico es de considerable importancia en la identifica-
ción de los objetos y según H. T. U. Smith (1943), y Colwell (1952) es,
"posiblemente, el más importante factor aislado que podemos usar para
reconocerlos".

Por regla general, los "rasgos culturales" o debidos a la actividad hu-
mana, que exhibe la superficie terrestre, tienen formas geométricas regu-
lares o irregulares, poligonales, e iguales o muy semejantes, mientras que
los "rasgos naturales" presentan formas aparentemente desordenadas y
hasta caóticas, característica que constituye una segura guía para distin-
guir unos de otros e identificarlos.

Por esto, para Krynine y Judd (1957), no solamente "muchos objetos
u obras que se deben a la mano del hombre tienen formas característi-
cas", sino que precisando un poco más, "las formas regulares o rectilí-
neas son características de muchos rasgos que se deben a la actividad
humana, mientras que las formas irregulares, por otra parte, son más ca-
racterísticas de los rasgos naturales". Por su parte, Albert Abrams (1944)
manifiesta "que los rasgos que se deben al hombre se encuentran limita-
dos por líneas rectas o curvas, mientras que los rasgos naturales, tienen
usualmente bordes irregulares".

En la naturaleza raramente se dan rasgos con expresión regular, pre-
dominando los desordenados e irregulares, como ocurre con las redes hi-
drográficas, la orografía, o la misma geología. Inversamente, 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, las que frecuentemente se acomodan en sus límites, a los accidentes topográficos del área, ya sean éstos 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 análisis, el criterio del "tono", pues éste cambia siempre en los cultivos con relación a la vegetación natural o a los terrenos desprovistos de ella.

En efecto, por su "forma" conocemos e identificamos los objetos todos, y por la semejanza con los ya conocidos, identificamos también a los desconocidos, distinguiendo las diferencias parciales que entre ellos puedan existir, para establecer así sus diversas categorías. Del mismo modo, por su "forma" identificamos las imágenes de dichos rasgos u objetos en las fotografías aéreas.

Los objetos que cubren la superficie terrestre se nos ofrecen proyectados en planta, en las fotografías aéreas verticales, que son las más generalmente usadas en los análisis, mientras que en las fotografías aéreas oblicuas se nos presentan más o menos de perfil. Las restantes imágenes teledetectadas, raramente son verticales, en el estricto sentido de la palabra.

En las zonas urbanas resulta fácil identificar por su "forma" los edificios y, como consecuencia, las aglomeraciones de habitaciones humanas de cualquier orden, así como distinguir entre aquéllos, sus diversas clases, según los fines a que estén dedicados. Por poca experiencia que el identificador tenga, podrá captar rápidamente el detalle o detalles, que caractericen un edificio destinado a vivienda, o a actividades comerciales o industriales, militares, civiles o religiosas, lo que le permitirá identificarlo y clasificarlo en la categoría que le corresponda. Son inconfundibles, aún observadas en planta, las "formas" de los templos, de las fábricas, de los cuarteles y hospitales —diferenciables por detalles característicos— de las estaciones de ferrocarril, de los estadios y canchas de juegos, de los hipódromos, de las plazas de toros, de los aeródromos, y hasta de las más pequeñas pistas de aterrizaje para aeronaves, etc., así como de las instalaciones portuarias, barcos grandes y pequeños, y demás rasgos culturales costeros.

Las carreteras, ferrocarriles y canales, formados por líneas rectas y curvas empalmadas en toda su longitud y sin solución alguna de continuidad, son también fácilmente identificables estereoscópicamente. Se distinguen bien unos de otros, pues los ferrocarriles tienen, por ejemplo,



las curvas más suaves que las carreteras y con mayor radio, al mismo tiempo que menos pronunciadas sus pendientes, lo que motiva necesiten proporcionalmente mayor número de trincheras, terraplenes y túneles. Ambos rasgos son positivos, mientras que los canales y otras pequeñas obras de riego son negativos, y de pendiente mínima, en comparación con los ferrocarriles y mucho más aún con las carreteras.

Las veredas y sendas, aunque "rasgos culturales", por acomodarse a la topografía —formada principalmente por "rasgos naturales"—constituyen una excepción parcial a lo anteriormente indicado, toda vez que no siempre, ni totalmente, están constituídos por trazos rectos o curvos regulares, lo que depende en gran manera de la naturaleza más o menos quebrada del terreno. No obstante, el identificador puede orientarse con seguridad, al proceder a verificar análisis de este género, aplicando un criterio lógico, pues cuando se establece una comunicación terrestre de esta clase entre dos puntos habitados —y que no constituyen una obra humana propiamente dicha, por no estar sujeta a planeación previa alguna y surgir simplemente del uso repetido y relativamente continuo que hombres y, en su caso, ganados, pueden hacer de una determinada ruta— se sigue siempre el sentido de menor resistencia, ajustándose para ello perfectamente a los accidentes del terreno, esquivando hábilmente los obstáculos existentes, del modo más conveniente posible, para evitar a quienes transiten por ella, esfuerzos innecesarios.

Como la fotografía aérea estereoscópica ofrece una perspectiva inmejorable para estos análisis, resulta cómodo seguir, no solo las más tenues sendas, sino deducir con seguridad por donde "debieran ir", en aquellos tramos o sectores de la misma donde rasgos naturales, como profundos cañones o quebradas, extensos arenales o espesos bosques, las sombras o bien la inconveniente escala de la fotografía, impidan la observación directa. En tales casos, el identificador no solo identifica, sino que, en cierto modo, reconstruye el desvanecido trazado de la sencilla vía.

El empleo espontáneo de razonamientos lógicos y, por decirlo así, instintivos —y tienen ese carácter, efectivamente, las trochs o brechas que las bestias practican a través de pantanos, aprovechando todos los escasos espacios utilizables, o seleccionando los mejores lugares para vados en los grandes ríos y, en este particular son muchas veces maestras y guías de los humanos, o marcando el camino más corto para las aguadas, etc.— hace que los que inicialmente abran una vereda, en su afán de evitar obstáculos naturales, las tracen preferentemente a lo largo de ríos y arroyos, cuando ya éstos han vencido tales obstáculos, o cuando las corrientes fluviales son inconvenientes para el tránsito, a lo largo de las divisorias de aguas.

En las zonas rurales cultivables, dominan los rasgos u objetos de con-

tornos poligonales, regulares o irregulares, correspondientes a los límites de las parcelas y a las diversas obras accesorias, como caminos de acceso intermedios y acequias de riego, y también a la "forma" misma de los cultivos propiamente dichos, especialmente cuando se trata de considerables plantaciones constituídas por árboles frutales o por arrozales, o por otras con típica expresión, no solo en las fotografías aéreas, sino en toda clase de imágenes teledetectadas.

A veces, falta este carácter de angularidad, cuando se trata de talas de bosques con fines industriales, o de quemas de los mismos para desmontarlos y establecer en los espacios así logrados parcelas de cultivo. En el primer caso, la presencia de gran número de troncos pertenecientes a los árboles talados, esparcidos por el monte unos, y reunidos y apilados otros, así como la localización de los caminos para transportarlos o de algún próximo aserradero, denuncian claramente la identidad "cultural" de los objetos o rasgos; en el segundo caso, resulta menos obvia la identificación, pues el incendio se extiende irregularmente, hasta extinguirse por sí mismo, al tropezar con accidentes naturales, como corrientes de agua o superficies rocosas sin cubierta vegetal. Esta falta de carácter en las huellas que dejan los incendios, por otra parte los tipifica, y su verdadera condición la evidencia la localización del área quemada, según que esté o no situada en zona apta para el cultivo; en caso contrario, el incendio puede ser accidental, o criminal, pero en ningún caso ejecutado con propósitos agrícolas. En ocasiones, y cuando el incendio todavía está activo, caso muy frecuente en México y en otros países de América Central y del Sur, el humo permite localizar los focos del mismo en las fotografías aéreas, no existiendo problema alguno de identificación.

En las zonas rurales, montañosas o no, aparecen rasgos culturales rectilíneos, más o menos quebrados, que corresponden a trochas o a bardas de escasa altura, limitantes a veces, de extensísimas propiedades, o a los llamados cortes rompe-fuegos en las zonas arboladas, o a trazados de líneas de conducción eléctrica de alta tensión, o telegráficas y telefónicas, raramente observables directamente las últimas. Estos rasgos no se confunden con las veredas o sendas, precisamente por no adaptarse como aquéllas a los accidentes topográficos, y cortar valles y montes, bien en la forma más corta posible, cuando se trata de líneas conductoras de electricidad, o bien de una manera caprichosa y muchas veces absurda, cuando se trata de límites de propiedades.

Por el contrario, los "rasgos naturales" carecen de ordenación alguna, por no estar constituídos por líneas rectas o curvas, y sí por trazos sinuosos, divergentes unas veces, otras convergentes, y siempre distintos entre sí, de forma que no haya dos iguales. Esto, sin embargo, no quiere decir que no exista una ordenación natural que presida la génesis, evolu-

ción y extinción de estos rasgos, de cuya "forma" se trata, solamente por la expresión de sus imágenes en las fotografías aéreas.

Tales son los "rasgos naturales" de todas clases, ya pertenezcan al ámbito de la fisiografía o, más concretamente, al de la geomorfología, como ocurre con las mallas del escurrimiento superficial y con las diversas manifestaciones del relieve, o bien al campo que nos interesa, de la geología, como sucede con los debidos a fenómenos estructurales o tectónicos, en fin, a la esfera edafológica. Pueden existir y, de hecho existen, edificios idénticos y, en realidad, todas las carreteras y ferrocarriles, por ejemplo, tienen características de "forma" iguales, si son de análoga categoría, pero nunca se podrá encontrar un arroyo o una colina iguales a otra colina o a otro arroyo.

Sin embargo, como excepciones aparentes a la regla de ser los "rasgos naturales" desordenados e irregulares, pueden citarse ciertas alineaciones producidas por fallas y demás clases de fracturas que, por su regularidad parecen ser "rasgos culturales", o artificiales, con tanta más apariencia cuanto menor es la escala de la fotografía; otras veces determinadas figuras ovales, revisten tal carácter, no obstante ser lagunas pantanosas cubiertas de hierbas y matorrales,* y lo mismo ocurre ocasionalmente con algunos conos volcánicos aislados, casi perfectamente circulares y cubiertos hasta sus bordes por depósitos posteriores, de forma que el cono quede reducido a un corte seccional, como "forma" registrable en la fotografía aérea.

Cabría aquí añadir, como "formas" circulares u ovales, más o menos regulares, las cicatrices dejadas por los impactos de meteoritos sobre la superficie terrestre, y de las que es el ejemplo más conocido y popular la del cráter Barringer o Meteor, en Arizona.

Efectivamente, uno de los grandes progresos logrados con las imágenes espaciales tomadas desde satélites artificiales, como los "Landsat", especialmente, consiste en la posibilidad de localizar sobre dichas imágenes, gracias a su pequeñísima escala, que permite abarcar la imagen entera del fenómeno, por grande que sea, estas cicatrices meteoríticas, que forman gran parte de los denominados ya, "complejos circulares u ovales". Anteriormente, se habían podido localizar varias de estas grandes cicatrices, mediante fotografías aéreas, sobre todo en el Canadá, pero con las imágenes espaciales tal posibilidad de localización ha aumentado extraordinariamente (F. Guerra Peña 1976).

Así, la Cuarta Regla Fundamental dice:

* Se hace aquí referencia concreta a las denominadas "Carolina bays", que se localizan en la parte meridional de la costa oriental de los Estados Unidos de Norteamérica, y de las que se tratará más adelante, al analizarse el factor hidrográfico.

“LAS IMAGENES CON APARIENCIA REGULAR QUE MUESTRAN LAS FOTOGRAFÍAS AERIAS VERTICALES, SALVO POCAS EXCEPCIONES, CORRESPONDEN A OBJETOS QUE SE DEBEN A LA ACTIVIDAD HUMANA, MIENTRAS QUE LAS IMAGENES IRREGULARES Y DESORDENADAS EN APARIENCIA PERTENECEN, POR EL CONTRARIO, A RASGOS QUE, COMO LOS GEOLOGICOS, SON NATURALES. POR LO TANTO, LA FORMA HORIZONTAL DE LOS OBJETOS O RASGOS, CONJUGADA CON SU TAMAÑO RELATIVO, RESOLVERA CUALQUIER DUDA QUE PUEDA PRESENTARSE RESPECTO A LA IDENTIDAD NATURAL O ARTIFICIAL DE LOS MISMOS”.

5.— TAMAÑO.

“Tamaño” de un objeto equivale a su “dimensión”, refiriendo ésta a las distintas formas de cantidad en cuanto se muestran sujetas a una medida, ya sea lineal o longitudinal, superficial o de latitud, y voluminosa o de profundidad en el espacio tridimensional, tal y como se percibe en los estereogramas aéreos.

Este factor analítico está íntimamente relacionado, por un lado, con el ya descrito de la “forma” y, por otro, con el constituido por la “sombra”, que se describirá a continuación. Los tres, son complementarios los unos de los otros, por lo cual son también interdependientes. No obstante esta mutua dependencia es variable, determinando su grado las circunstancias que concurren en cada caso, en particular.

Los “tamaños” comparados de los objetos, según H. T. U. Smith (1943), “ayudan a distinguir entre objetos de forma similar, pero de tipo diferente, tales como casas-habitación y edificios de oficinas o almacenes”. Muchas veces, por no aplicarse este criterio, son mal identificadas las imágenes fotográficas, al serlo solo por su “forma”, pero la consideración posterior del “tamaño” comparado de las mismas, descubre fácilmente el error. Colwell (1952), cita algunos ejemplos de esta clase de equivocaciones, cometidas principalmente por novicios en la interpretación.

Aunque reconociendo el valor del factor “tamaño” en todos los campos de la identificación y de la interpretación, Ray (1956), subraya la importancia del mismo en su aplicación en los análisis fotogeológicos, especialmente por lo que se refiere a la medida del espesor de los estratos, de la cantidad de desplazamiento de las fallas, y de otras medidas definidas.

Con cierta práctica, se logra automáticamente dominar la técnica de identificar los objetos registrados en las imágenes fotográficas aéreas, mediante el uso de este factor, de modo que se verifique mentalmente el cálculo aproximado del tamaño de todos los objetos sometidos al análisis, lo que se consigue, tanto por su directa comparación con los objetos de tamaño ya conocido registrados en las fotografías, como por la aplicación instantánea de la escala de la misma.

De este modo, la Quinta Regla Fundamental, se puede enunciar como sigue:

“EL TAMAÑO RELATIVO DE LOS OBJETOS O RASGOS, CONSTITUYE UN FACTOR SIMPLE Y SEGURO PARA SU IDENTIFICACION, CUANDO SE TRATE DE ENTIDADES CULTURALES O HUMANAS, BIEN POR COMPARACION CON OTROS DE DIMENSIONES YA CONOCIDAS, O BIEN APLICANDOLES DIRECTAMENTE LA ESCALA DE LA FOTOGRAFIA QUE CONTIENE LA IMAGEN ANALIZADA. ESTE FACTOR ANALITICO ES DE POCA APLICACION A LOS RASGOS NATURALES, COMO LOS GEOLOGICOS, POR TENER ESTOS UNA INFINITA GRADACION DE TAMAÑOS, QUE VA DESDE LO INFINITAMENTE PEQUEÑO A LO INFINITAMENTE GRANDE”.

6.— SOMBRA.

Se denomina “sombra” la proyección oscura que un cuerpo lanza en el espacio en dirección opuesta a aquélla por donde vienen los rayos solares o los de otro foco luminoso, o dicho de otro modo, la imagen oscura que sobre una superficie cualquiera proyecta el contorno de un cuerpo opaco, interceptando los rayos directos de la luz, como la sombra de un edificio, de un árbol o de una persona.

Según Robert N. Colwell (1952), las “sombras” son importantes:

- 1o.—Porque la forma o contorno de la sombra revela el perfil del objeto que la produce y, por lo tanto, facilita el reconocimiento del mismo;
- 2o.—Porque los objetos que se hallan dentro de la zona de sombra reflejan la luz tan débilmente hacia la cámara que son virtualmente indiscernibles en las fotografías.

Las “sombras” tienen, pues, una doble función como factor analítico, negativa la una y positiva la otra. Por la primera, constituyen un poderoso obstáculo para la identificación de los objetos y rasgos que se localizan

en la superficie terrestre, toda vez que la imagen oscura que los mismos pueden originar, oculta total o parcialmente, no solo los objetos o rasgos que la causan, como ocurre con la ladera cubierta por la sombra e independientes del objeto que la motiva, y tal es el caso de una nube; por la segunda, la "sombra" constituye un poderosísimo elemento productor de contraste, entre las zonas iluminadas y las sombreadas y, por lo tanto, acentuador considerable de la sensación del relieve, o profundidad, en las imágenes.

Esta clave analítica se encuentra tan estrechamente relacionada con las dos inmediatas anteriores —"forma" y "tamaño"— que se hace necesario aplicarlas de una manera conjunta y combinada. En efecto, la forma y el tamaño de las imágenes muchas veces pueden ser determinados solamente mediante la sombra que originan, como sucede, por ejemplo, con puentes, torres, chimeneas de fábricas, postes de conducciones eléctricas, o de líneas telegráficas o telefónicas, rasgos todos cuyas formas y tamaños pueden establecerse en las fotografías aéreas únicamente por sus "sombras", especialmente los últimamente nombrados, dado su escaso diámetro. Lo mismo puede decirse de los árboles de todas clases, y otros objetos naturales. La altura de todos los rasgos mencionados, puede obtenerse con exactitud suficiente en las fotografías aéreas mediante la medida de sus respectivas sombras, las que, según la hora del día y la fecha del año en que la fotografía se tome, la latitud, etc., tendrán dimensiones determinadas por unidad lineal.

El relieve terrestre es el factor que origina la casi totalidad de las sombras normales en las fotografías aéreas, de forma, 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, 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, destaque el escaso relieve terrestre y, con él los rasgos geológicos que lo produzcan. Solo en casos especiales es conveniente la toma de fotografías aéreas cuando el sol esté muy alto sobre el horizonte, en latitudes relativamente bajas.*

Para el perfecto estudio de las sombras en las fotografías aéreas, A. Abrams (1944), aconseja que éstas se coloquen de forma que la "som-

* Cuando las fotografías se toman cuando el sol se encuentra en el cenit y carecen de relieve, se denominan "planas".

bra" caiga hacia el observador, por acentuarse así la percepción del relieve. La falta de cuidado en la correcta orientación de los estereogramas al ser estudiados estereoscópicamente, por lo que se refiere a la "sombra", puede producir efectos que induzcan a error al observador, al obtener una visión invertida del relieve, cuando no se tiene mucha experiencia, tal y como ocurre con la visión seudoscópica, al colocar las fotografías del par estereoscópico en orden invertido.

Las sombras están constituidas por áreas más o menos grandes que no reflejan la luz o la reflejan poco, como ya se ha dicho, bien por no recibirla, por absorberla, o por desviarla, y que pueden observarse en casi todas las fotografías aéreas. Teóricamente, no hay sombras cuando la fotografía corresponde a zonas sin relieve terrestre, lo que en realidad resulta imposible, pues siempre hay algún relieve y, por lo tanto, algunas sombras, por pequeñas que sean. Tal sucede en las llanuras desérticas y en las zonas pantanosas desprovistas de vegetación perceptible, con la sola excepción de las superficies líquidas totalmente en calma.

Tampoco se producen sombras en las fotografías aéreas tomadas en días con el cielo completamente nublado, por la dispersión y tamización de la luz a través de las nubes, de la niebla o de la bruma.

Las sombras que aparecen en las fotografías aéreas oscilan gradualmente entre el negro y variadísimos matices del gris oscuro, denominándose a las primeras "sombras absolutas", y a las segundas "sombras relativas", por no recibir aquéllas ninguna cantidad de luz directa del sol, y por recibirla éstas grandemente reducida. Las "sombras absolutas" impiden por completo la visión de los objetos y rasgos que se localizan dentro del área que ocultan, mientras que las "sombras relativas" sólo impiden la visión correcta, clara y definida, dependiendo esta claridad y definición de la imagen, del grado de intensidad de la sombra, es decir, del tono gris con que se refleje la "sombra" en la fotografía.

Las "sombras relativas" desaparecen en parte, cuando no son demasiado oscuras, por la observación estereoscópica, sobre todo cuando la zona analizada en el estereograma no está igualmente afectada, en las dos fotografías que lo componen, por la sombra, es decir, cuando lo está menos en una fotografía que en la otra, o bien está una de las fotografías del par estereoscópico sin afectar, lo que suele ocurrir, dada la diferente posición de la cámara aérea, al desplazarse el avión desde el punto en que tomó la primera vista hasta aquél en que tomó la segunda, y que según sea la escala, puede comprender una distancia grande, de varios kilómetros, por ejemplo. Este desplazamiento de la cámara aérea, origina las consiguientes variaciones de perspectiva en las fotografías aéreas y, por lo tanto, el aumento o disminución de las sombras, con la posibilidad de que algunas de ellas se hayan desplazado también totalmente, hasta desaparecer.

Aunque las sombras sirven principalmente para acentuar la sensación de profundidad o de tercera dimensión, en la observación estereoscópica, también dan lugar a tal efecto en las fotografías aéreas aisladas o individuales, al ser éstas examinadas directamente y a simple vista, sin la ayuda de instrumento óptico alguno. Guiándose así, solamente por las sombras que se registren en una fotografía aérea aislada, se puede marcar perfectamente toda la red hidrográfica del área que cubra dicha fotografía y repetir sucesivamente la operación con todas las demás que se precisen, sin necesidad de utilizar la visión estereoscópica, siempre que existan sombras que correspondan al relieve del modelo estudiado. El sombreado artificial que figura de diversas maneras expresado en los mapas convencionales, para destacar el relieve, no es otra cosa que el equivalente de estas sombras reales de las fotografías aéreas, las que pueden acentuarse cuando el relieve sea muy débil, tomando las fotografías a horas convenientes para ello, como ya se apuntó, en cuyo caso se puede registrar hasta el relieve producido por el surco de un arado, en las fotografías de relativamente pequeña escala. Los ingleses son maestros en esta técnica, que han aplicado principalmente a sus exploraciones arqueológicas.

Como acertadamente indica H. T. U. Smith (1943), ésta de registrar la presencia de irregularidades pequeñas en la superficie terrestre, es una de las mayores ventajas que las sombras proporcionan en la tarea de identificar las imágenes, puesto que se trata de rasgos que, de otro modo y por su pequeño tamaño, habrían quedado inadvertidos. Y es bien sabido que, son estas irregularidades menores, precisamente, las que muchas veces dan la solución del problema que se trata de resolver con la identificación o interpretación en su caso, ya sea éste geográfico, geomorfológico, geológico, etc.

En opinión de H. T. U. Smith (1943), la "sombra" es más bien sugestiva que conclusiva, cuando se utiliza para conocer la forma y tamaño de los objetos.

Las sombras causan, a veces, efectos que inducen a error, en la fotointerpretación, por la falsa apariencia del relieve que las origina, según ya notó A. J. Eardley (1942), lo que suele ocurrir cuando se toman fotografías aéreas por la mañana muy temprano, o muy tarde, a la puesta del sol.

Cuando las sombras totales o espesas, corten al observador la visión de un rasgo determinado, aquél debe tratar de localizarlo al finalizar tal rasgo, bien en la misma fotografía o en la siguiente y, entonces, conectar las porciones visibles del rasgo en cuestión, en la forma que aconsejen las circunstancias del caso, como las relaciones con el relieve, pendiente, estructura, etc.

De la "sombra" se deriva la Sexta Regla Fundamental, como sigue:

"LAS SOMBRAS QUE APARECEN NORMALMENTE EN LAS FOTOGRAFÍAS AEREAS, AL REVELAR Y ACENTUAR EL RELIEVE DE LA SUPERFICIE TERRESTRE, QUE LAS ORIGINA, PONEN EN EVIDENCIA, AL CONTRASTARLOS, LOS ELEMENTOS GEOLOGICOS SUSCEPTIBLES DE CAUSARLAS, POR LO QUE CONSTITUYEN UNA GUIA INMEJORABLE EN LA LOCALIZACION DE RASGOS ESTRUCTURALES Y TECTONICOS".

7.— PATRON, TIPO O MODELO DE CONFIGURACION.

Este factor analítico es también importante, pues puede servir, sin necesidad de la ayuda o colaboración de otros elementos de análisis, para la interpretación, no solamente de un rasgo aislado, sino de los que integren un conjunto en una o varias fotografías aéreas, desde un punto de vista determinado.

H. T. U. Smith (1943), define este factor analítico como "la más o menos ordenada distribución en el espacio de los elementos que muestran las fotografías", y Ricahrd G. Ray (1958), abundando en el mismo criterio lo considera como "la ordenada distribución o arreglo espacial de los rasgos geológicos o de otro carácter".

Supone y exige este factor analítico, la repetición indefinida de la identificación de ciertos rasgos generales, asociados entre sí de un modo regular hasta en sus anomalías, cuando éstas se dan. De hecho, este factor clave es el primero que se emplea, de un modo automático o espontáneo, en el análisis de las fotografías aéreas, lo que permite al observador descubrir los caracteres más generales del conjunto de rasgos analizados. En muchas ocasiones es suficiente para la identificación y de una forma tan inmediata, que las operaciones de identificación y de interpretación pueden verificarse simultáneamente, de un modo mucho más rápido y fácil que cuando se aplican otros factores.

Ejemplos característicos de modelos o tipos de configuración, los constituyen las diversas agrupaciones humanas, ya sean éstas urbanas o rurales; las aglomeraciones industriales; las explotaciones agrícolas; los nudos ferroviarios o carreteros; o, las instalaciones portuarias, por no citar otros, entre los de carácter artificial o cultural. Entre los de carácter natural figuran destacadamente, los que integran los diversos sistemas de avenamiento o drenaje; los correspondientes a las varias formas es-

tructurales, reflejadas superficialmente en las distintas clases de plegamientos geológicos; los determinados por las diversas formas de fracturación de las rocas, sobre todo cuando constituyen sistemas con un patrón definido, especialmente debidos a juntas o diaclasas, o bien a sistemas de afallamiento.

En todos estos casos, y en los similares correspondientes a otros órdenes de fenómenos registrados en la superficie terrestre mediante rasgos determinados, lo primero que se observa al analizar el contenido de la fotografía aérea, de un modo que —valga la expresión— puede decirse que salta a la vista, es la forma de distribución espacial, más o menos ordenada, con arreglo a patrones conocidos, de los principales rasgos que integran las imágenes, entendiendo por principales los más evidentes y notorios.

En una zona de intenso afallamiento, serán las fallas lo primero que surgirá ante el observador, y su forma de distribución o arreglo —según sean paralelas o entrecruzadas, formando entonces sistemas rectangulares o romboidales— la que dará carácter típico al conjunto; la densidad y arreglo de la red hidrográfica, otorgará igualmente carácter definido al paisaje aéreo, en forma perfectamente específica, y lo mismo ocurrirá con la típica forma de configuración de los derrames ígneos, de las terrazas fluviales o marinas, o de los abanicos aluviales y deltas.

Cuando el “lector” de fotografías aéreas va adquiriendo experiencia en la tarea de identificar rápidamente las imágenes reflejadas en las mismas, tiende a aplicar este factor analítico de un modo continuo, a manera de análisis preliminar que facilite la necesaria orientación en el uso subsiguiente de los otros factores, de forma que se convierta en habitual y previa etapa a toda identificación. En ocasiones, él solo es suficiente para aclarar el problema o problemas contenidos en la fotografía, de un modo general y rápido; y el resultado de este análisis preliminar, basado en la configuración o tipo, modelo o patrón que las imágenes adopten en su distribución espacial, determinará si el análisis se continúa, empleando además otras claves analíticas, o se detendrá en tal momento, por quedar el problema resuelto en principio, o por no presentar ya interés para la ciencia o técnica que utilice el estudio.

Para las imágenes de muy pequeña escala, como ocurre con las espaciales, tomadas desde satélites artificiales, esta guía reviste extraordinario valor y es insustituible, pues permite observar simultáneamente grandes conjuntos de rasgos, que reunidos en tales documentos, ofrecen patrones y modelos de configuración muy típicos y totalmente diferentes a los que cada uno de ellos puede presentar individualmente. Una vez conocidos estos tipos de configuración, pueden aplicarse a otros muchos de su especie, cuando de analizarlos se trate, como ocurre, por ejemplo,

con las cicatrices dejadas sobre la superficie terrestre por los impactos de los meteoritos, tan abundantes en épocas geológicas pasadas y tan difíciles de reconocer, no ya solo mediante reconocimiento geológico superficial corriente, ni aún mediante fotografías aéreas inclusive, aunque ya con estos documentos se pudieron localizar numerosos impactos de este género.

Del "modelo o tipo de configuración", se deduce la Séptima Regla Fundamental, como sigue:

"EL TIPO O MODELO DE CONFIGURACION QUE ADOPTAN LOS OBJETOS Y RASGOS GEOLOGICOS EN SU DISTRIBUCION SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE, CONSTITUYE EL PRIMER FACTOR ANALITICO QUE HA DE APLICARSE AL ANALISIS DE LAS IMAGENES FOTOGRAFICAS AEREAS Y, PRINCIPALMENTE A LAS ESPACIALES, PUES ES LA MEJOR Y MAS DIRECTA FORMA DE ESTUDIAR CONJUNTOS DE RASGOS QUE INTEGRAN FENOMENOS MUY COMPLEJOS, O SEA QUE, POR MEDIO DE ESTA GUIA Y EMPLEANDO INDISTINTAMENTE LA IDENTIFICACION Y LA INTERPRETACION, SE PUEDE DESENTRAÑAR EL SIGNIFICADO DE CONGLOMERADOS DE RASGOS DE TODAS CLASES, SIMPLEMENTE POR LA OBSERVACION DE LOS TIPOS DE CONFIGURACION QUE NORMALMENTE ADOPTAN, DE ACUERDO A SU PARTICULAR NATURALEZA, COMO SUCEDE CON LA MAYORIA DE LOS RASGOS GEOLOGICOS".

8.— RELACIONES CON OBJETOS O RASGOS ASOCIADOS.

Con frecuencia ocurre que un determinado rasgo geológico carezca de caracteres específicos propios que permitan su inmediata interpretación aislada, independientemente del tamaño y forma que tenga o de la sombra que arroje. En tal caso se hace preciso relacionarlo con otros rasgos u objetos circundantes, más o menos lejanos, y de alguna forma asociados a él. La identificación directa de tales objetos o rasgos asociados, permitirá por interpretación, la identificación indirecta del sometido a consideración, o elemento incógnito. Tal ocurre, por ejemplo, con rocas extrusivas ocultas bajo aluviones, cuya verdadera naturaleza la descubre, pese a su dudosa identidad, el aparato volcánico de donde proceden, el cual puede estar o no próximo.

Los rasgos asociados que se precisa conocer para la identificación de

un rasgo u objeto desconocido, en una fotografía aérea, pueden encontrarse todos en la misma o fuera de ella, o en otra u otras fotografías vecinas, bien del mismo vuelo o de vuelos contiguos. Por esto es necesario disponer de más de un par estereoscópico, si se quiere utilizar este factor clave con algún margen de éxito, pues lo que resulte oscuro en una fotografía podrá aclararse en la siguiente, o en una tercera, a lo largo o a lo ancho del área, en el sentido en que los rasgos asociados se presenten.

Esta regla tiene relación con la "evidencia indiciaria", mediante la cual se pueden identificar o interpretar rasgos u objetos, sólo por "indicios" de su verdadera condición, revelada 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 del curso de un río, evidencia el afallamiento que lo ha producido, no obstante ser imposible su identificación directa, tanto en las fotografías aéreas como en el terreno, por el reconocimiento superficial solamente, exigiendo otras labores para su localización. Sin embargo, esta clave es también de aplicación a las imágenes espaciales, pese a la gran área que éstas cubren, lo que permite percibir grandes asociaciones a un mismo tiempo y sin salirse del documento. En realidad, lo que varía simplemente es la escala.

El "indicio" constituye, por lo tanto, un elemento de identificación y ayuda para la interpretación de un fenómeno geológico dado, tanto en las fotografías aéreas como en las imágenes espaciales. El "indicio" 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", valga el pleonasmo.

Este procedimiento debe emplearse también, según H. T. U. Smith (1943), en el estudio de objetos difíciles de distinguir a causa de la pequeña escala de la fotografía aérea, con relación a 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 o la imagen espacial de una escala inconvenientemente pequeña.

Este fenómeno permite enunciar la Octava Regla Fundamental, de la siguiente manera:

"CUANDO LA IMAGEN DE UN RASGO GEOLOGICO REPRODUCIDO EN UNA FOTOGRAFIA AEREA O EN UNA IMAGEN ESPA-

CIAL, CAREZCA DE CARACTERES DISTINTIVOS QUE PERMITAN SU IDENTIFICACION PRECISA, DEBERA SER RELACIONADA CON SUS RASGOS ASOCIADOS EN EL AREA, DE FORMA QUE, POR LA IDENTIFICACION DIRECTA DE ESTOS, SE CONSIGA LA IDENTIFICACION INDIRECTA, O INTERPRETACION, DE AQUEL”.

9.— MICRORRASGOS NO TOPOGRAFICOS.

Existen en la superficie terrestre gran cantidad de variados rasgos, en su mayoría muy pequeños, bien visibles en las fotografías aéreas, que no pueden ser calificados de topográficos ni generados por la textura fotográfica. A tales rasgos los ha llamado Donald R. Lueder (1959), “microrrasgos no topográficos”.

Estos rasgos son difícilmente calificables más específicamente, pues corresponden a una gran variedad de fenómenos y de categorías, como los debidos a la actividad de los insectos —langosta, por ejemplo— o a la acumulación de materias contaminantes del medio ambiente, o a la constitución muy particular de diversas clases de rocas, etc., que dan lugar a rasgos que permiten identificarlas sin referencia alguna a su particular condición topográfica.

Quedan incluidos en esta clase aquellos objetos o rasgos no topográficos que, a consecuencia de la escala, y por ser ésta demasiado pequeña, resultan difíciles de distinguir, pero que presentan una apariencia individual típica que los identifica.

Algunos autores denominan a este factor analítico “rasgo diversos” o “miscelánea”.

De esto, se deriva la Novena Regla, de carácter complementario, como sigue:

“RASGOS DE MUY PEQUEÑO TAMAÑO, POR LO GENERAL, QUE NO SON DE NATURALEZA TOPOGRAFICA NI ATRIBUIBLES A LA TEXTURA Y SI A MULTITUD DE OSCURAS CAUSAS, GENERALMENTE NATURALES, COMO LA ACTIVIDAD DE CIERTOS INSECTOS O A LA ACUMULACION DE DESECHOS CONTAMINANTES DEL AMBIENTE, PUEDEN SER DETECTADOS PERFECTAMENTE EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS”.

Observaciones generales sobre las reglas del Tercer Grupo.

Las seis reglas de este grupo son estrictamente topográficas, es decir, corresponden "al conjunto de particularidades que presenta un terreno en su configuración superficial" Vergara Martin, (1926), Muñoz Lumbier, (1945), y Coluccio (1947). Entre estas particularidades se encuentran, además de las formas topográficas propiamente dichas, constitutivas del relieve terrestre, las discordancias existentes entre dichas formas, el gradiente o posición de las mismas, 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 sus consecuencias, son las desigualdades de la superficie terrestre la fuente de todos los contrastes, del clima como de la vegetación, de la dispersión 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 como la definió A. H. 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 actual superficie terrestre con carácter descriptivo, "como una introducción a la geología" (Pedro de Novo y F. Chicharro, 1958), y es en este sentido como tiene la topografía vital importancia para la interpretación geológica de las fotografías aéreas.

10.— FORMAS TOPOGRAFICAS O RELIEVE TERRESTRE.

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, 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 topográfico-geológica fué aplicada al campo de la exploración fotogeológica por W. T. Lee (1922), al manifestar por primera vez que, en el reconocimiento aéreo "muchas de las conclusiones de natura-

leza geológica se desprenden de la observación de sus relaciones superficiales”.

Insistió en ello H. T. U. 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”.

Las “formas topográficas” resaltan siempre sobre un plano de referencia, previamente establecido a tal efecto y, como “no hay terreno sin relieve”, según atinadamente señala Lueder (1959), los términos “formas topográficas” y “relieve terrestre”, pueden considerarse como sinónimos.

El factor analítico constituido por la “topografía” o “relieve terrestre”, encierra excepcional importancia en la identificación e interpretación de las imágenes de las fotografías aéreas, por reproducir estos documentos con toda exactitud dicha superficie terrestre, es decir, todos los accidentes topográficos, ya sean naturales o culturales, que la integran. El valor de esta clave analítica se encuentra acentuado por el hecho de que, al ser observadas las fotografías aéreas por medio del estereoscopio, se exagera el relieve por medio de las lentes del instrumento, lo que facilita la percepción del mismo, sobre todo en las áreas más o menos llanas, de escaso relieve. (W. T. Lee, 1926).

Bajo el epígrafe de “formas topográficas” o “relieve terrestre”, se consideran solamente las formas de mayor extensión, excluidas, claro está, las formas topográficas de primer orden. Ciertos grandes rasgos ocasionales podrían ser también considerados, pero se eliminan por su carácter excepcional, reservándose su estudio para cuando se haga el de todos los demás rasgos topográficos que, a los efectos de su análisis por medio de fotografías aéreas, bien pueden ser considerados como de detalle, aunque correspondan a formas topográficas calificadas de segundo y tercer orden, calificación que en definitiva depende de la escala de la fotografía.*

Desde el punto de vista de la identificación de las imágenes de las formas topográficas en las fotografías aéreas y en las imágenes espaciales, éstas presentan la ventaja valiosísima, como ya se indicó antes, sobre los

* Según O. D. von Engeln (1949), las formas terrestres son de tres órdenes, clasificándose del modo siguiente:

Firmer orden: Formas de la tierra sólida, de los continentes y de las cuencas oceánicas, consideradas como unidades, en su integridad;

Segundo orden: Llanuras, mesetas y montañas;

Tercer orden: Valles, sierras, acantilados, cuencas, etc.

mapas topográficos ordinarios o convencionales, de exhibir la totalidad, ciento por ciento, de dichos rasgos, sin faltar ninguno, por lo tanto, y sin otra limitación que la ya mencionada de la escala, así como la de reflejar los rasgos auténticos, reales y verdaderos, mientras que los mapas topográficos indicados, sólo reproducen rasgos seleccionados conforme a la particular condición del estudio para el cual se confeccionan, representándolos por medio de símbolos convencionales, importante defecto, muchas veces acentuado por ser tales símbolos inadecuados.

La fotografía aérea, así como la imagen espacial, registra toda la inmensa riqueza de datos de las más diversas categorías que el área reproducida contenga. Topográficamente consideradas, las imágenes de ambos documentos, reflejan rasgos topográficos esencialmente, no solo por ser este aspecto el que presenta mayor interés, desde dicho ángulo de observación, sino por estar constituida la superficie terrestre reproducida, precisamente por accidentes topográficos.

En la fotografía aérea, además, se percibe directamente la topografía tal y como es realmente, pudiéndose examinar con detenimiento todos los rasgos, uno a uno o en su conjunto, lo que permite establecer de una forma rápida y completa las relaciones que pudieran existir entre ellos, y de un modo mucho más exacto que sobre el terreno mismo, sin necesidad de interpretar previamente símbolos convencionales, más o menos idóneos, ni de reconstruir mentalmente la integridad del terreno reproducido, mediante la interpolación, también mental, de la gran cantidad de datos omitidos entre los registrados simbólicamente.

Por ello, al reproducir las fotografías aéreas, las formas terrestres, tal y cual ellas son, resulta imposible cometer errores en la identificación de las mismas, puesto que se registra la realidad y solamente ella. Se reconoce así un arroyo o una loma, una casa o un camino, con mayor facilidad y, por lo menos, la misma seguridad que en el propio terreno, por muy poca experiencia que de la "lectura" de fotografías aéreas se tenga.

En suma, como documento topográfico, una fotografía aérea es un documento completo y casi perfecto. La objeción que podría hacerse a la anterior afirmación, admitida la fotografía aérea sin restituir, fundada en que toda fotografía está sujeta a diversas deformaciones, por muy perfectas que sean, tanto la lente de la cámara como las condiciones físicas en que se haga, no es válida tratándose de identificación de las imágenes en ellas reproducidas para fines relacionados con la condición topográfica o del relieve del suelo, pues las conclusiones a que se llegue en los correspondientes estudios se desprenderán del total de datos facilitados por el detenido análisis de todos los rasgos, considerados finalmente en conjunto, y la posibilidad de realizar un examen completo, sólo realizable con fotografías aéreas, compensa con creces los inconve-

nientes que pudieran presentar para los respectivos análisis las deformaciones normales de las imágenes fotográficas.

El principal mérito de las "formas topográficas" o "relieve terrestre", como factor analítico, reside concreta y específicamente, en la posibilidad de establecer, mediante la identificación e interpretación de las imágenes de las fotografías aéreas, las relaciones existentes entre la topografía por un lado, y por otro, la fisiografía (1); la geomorfología (2); la geología (3); la geohidrología (4); la edafología (5); la fitogeografía (6); la zoogeografía (7); la antropogeografía (8); la geografía económica (9), y; hasta la geopolítica, etc.

De todo este conjunto de relaciones de diversas ciencias con la topografía, solo se hará referencia a aquéllas que tienen carácter geológico y, por lo tanto afectan a la metodología fotogeológica.

(1) *Relaciones de la fototopografía con la fotofisiografía.*

Las relaciones de la topografía y la fisiografía o geografía física, entendiéndose por tal la descripción de la superficie de la litósfera con carácter presente, en estrecha relación con las envolturas líquida y gaseosa del globo, son tan evidentes en las fotografías aéreas, que no existe medio alguno mejor para su estudio que el que tales documentos facilitan.

En las fotografías aéreas aparecen todos los rasgos físicos superficiales de la tierra, desde los más extensos a los más reducidos, diferenciándose unos de otros por lo que al análisis se refiere, no por el método, y sí solamente por exigir los primeros el estudio de gran número de fotografías a escala relativamente pequeña, mientras los segundos podrán ser observados en una o, cuando más, varias fotografías, a escala, también relativamente, grande.

Es asombroso el detalle con que pueden registrarse los menores rasgos fisiográficos en las fotografías aéreas, y lo mismo puede decirse, proporcionalmente, en las imágenes espaciales. Se muestra en ellas la red hidrográfica, principalmente, íntegra, desde las más mínimas y oscuras vaguadas, hasta los menores accidentes de los grandes ríos, como islas o islotes, bancos emergidos y sumergidos —éstos últimos hasta cierta profundidad— playas, canales temporales y meandros divagantes, etc. Y, al mismo tiempo, la visión tridimensional descubre hasta el más diminuto detalle relacionado con la orografía y el relieve, en general, pudiéndose identificar cualquier roca aislada o las que forman una cima, por pequeñas que sean, así como la más suave ondulación del terreno. Con la misma precisión pueden registrarse otros elementos topográficos, como las irregularidades de la superficie terrestre debidas a la actividad humana...

También se muestra patente en las fotografías aéreas la influencia de

la atmósfera en la superficie del planeta a través de los diversos meteoros que actúan sobre ella. Las imágenes de las fotografías aéreas revelan dicha acción del modo más concluyente, no dejando lugar a la menor duda, por ejemplo, acerca del "clima" de la región a que pertenezcan, sin necesidad de conocer previamente la localización del área.

Revelan el clima los rasgos registrados en las fotografías que tienen alguna relación con los factores o elementos que lo constituyen. Tales datos se brindan al observador de un modo espontáneo, y tan efectivamente como si se estuviese situado en el terreno reproducido en las fotografías, de forma que en tal situación, difícil sería dudar de los caracteres generales del clima; éste "se siente", y esa "sensación" pudiera decirse que es posible percibirla también en las fotografías aéreas, cuando se analizan con atención los factores coincidentes que afectan al clima, tal y como se reflejan en las fotografías aéreas.

La topografía es, en muchos aspectos, el resultado de la influencia del clima sobre el medio físico, y del mismo modo resulta cierta la afirmación inversa, esto es, que el clima está en gran manera determinado por la topografía y el relieve terrestre; ambos factores se influyen mutuamente. No obstante, los dos elementos que mayor influencia ejercen sobre el clima, son la altura del terreno sobre el nivel del mar, es decir, la cuantía del relieve o altitud, y la inclinación de los rayos solares sobre el mismo terreno, determinada principalmente por la latitud geográfica.

Así, pues, con ayuda de las fotografías aéreas, pueden precisarse detalladamente los climas, pues ningún rasgo topográfico, en general, o del relieve terrestre, en particular, que influya sobre el clima, escapará al análisis detenido y cuidadoso de las imágenes fotográficas. Cuando menos, se podrán formular los caracteres generales del clima.

Por otra parte, la tarea de dividir un territorio determinado en regiones o provincias naturales o fisiográficas, así como su correcta delimitación, encuentra en las fotografías aéreas su mejor instrumento de trabajo. Las fronteras naturales pueden marcarse de una manera exacta y, lo que es más valioso todavía, trazarse las divisiones y subdivisiones de las unidades mayores, con las máximas garantías de acierto, casi imposibles de lograr de otro modo, por muchos datos de que se disponga para ello.

Con relación a este particular aspecto del uso de las fotografías aéreas, el "Manual of Photographic Interpretation" (1960), de la American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, manifiesta: "Una importante fase de la geografía es el reconocimiento y delineación de las diversas regiones o provincias geográficas. Esto requiere una síntesis y un análisis de los muchos factores físicos y culturales del paisaje, con objeto de obtener un cuadro compuesto del área. El cuadro debe ser lo suficientemente amplio como para poder presentar la conveniente perspec-

tiva, sin perjuicio del necesario detalle. Las fotografías aéreas, interpretadas apropiadamente, y suplementadas con datos logrados en el terreno, constituye la información geográfica ideal para conocer y delimitar regiones y provincias geográficas”.

Por lo tanto, no se puede llevar a cabo ningún estudio fisiográfico serio sin el uso de las fotografías aéreas o, en caso contrario, resultará la investigación incompleta, cuando no equivocada y, en todo momento, mucho más laboriosa.

Para la representación gráfica por medio de mapas, de los datos extraídos de la inmensidad de rasgos fisiográficos contenidos en una fotografía aérea, la única dificultad que se presenta es la imposibilidad material de registrarlos todos, ya que siempre resultará la punta del lápiz o de la pluma que se empleen en el dibujo, de mayor tamaño que muchos de dichos rasgos, por grande que sea la escala de la fotografía, la cual tiene de todos modos un límite. Como este obstáculo no puede vencerse con ampliaciones, ni mucho menos con fotografías tomadas a escala mayor, con lo que solo se conseguiría ver multiplicado el tamaño de los rasgos en la misma proporción en que la escala aumente, manteniéndose así el problema en la misma situación, la única solución consiste en seleccionar los datos del modo más conveniente para el estudio que se realice, por su importancia y tipicidad, eliminándose todos los demás, ni más ni menos que se hace al confeccionar mapas convencionales. Por ello, el estudio analítico debe verificarse sobre la misma fotografía, amplificando sus imágenes con medios ópticos —lentes binoculares— para poder utilizar todos los datos contenidos en la misma, lo que garantizará el acierto en su posterior selección para la reproducción gráfica, así como en el planteamiento de las conclusiones a que el análisis lleve.

Los mapas fisiográficos así realizados, pueden utilizarse en fotogeología como excelentes hojas de trabajo, por reproducir los rasgos registrados en las fotografías aéreas y recoger la esencia del análisis de sus imágenes. Y lo mismo puede decirse de las imágenes espaciales.

(2) Relaciones de la fototopografía con la fotogeomorfología.

Las formas topográficas que las fotografías aéreas muestran pueden ser también analizadas genéticamente, poniendo al descubierto las relaciones existentes entre tales formas y el relieve terrestre, con la geomorfología, del mismo modo que se hace con las existentes entre la topografía y la fisiografía.

Constituye la geomorfología una parte de la fisiografía, la que pudiera llamarse terrestre —según expresión aclaratoria de William Morris Davis (1900)— al lado de la hidrografía, que se ocupa de la hidrósfera, y de la

meteorología, que trata de la atmósfera, pero se diferencia de la fisiografía de las tierras propiamente dichas, por esforzarse en descubrir la génesis y evolución de las formas terrestres.

Las fotografías aéreas muestran a través de la topografía ambos aspectos del paisaje, estático el uno, dinámico el otro, como correspondientes a las descripciones, fisiográfica, el primero, y geomorfológica, el segundo. En esta última tarea, las fotografías aéreas son aún más útiles que en el análisis fisiográfico, pues muestran aspectos genéticos de las formas terrestres imposibles de captar sin ellas, por la gran amplitud de la superficie que cubren y por la inmejorable perspectiva que para estas investigaciones presentan tales documentos aéreos. No se trata ya de la gran riqueza de datos que ofrecen al análisis fisiográfico, sino de la posibilidad de penetrar en un ámbito fenomenológico sólo accesible con la ayuda de las fotografías aéreas, registros elocuentes de la geomorfología.

Por esta razón, "la geomorfología —como apuntó Kirk Bryan (1941)— ha absorbido los aspectos puramente geológicos de la fisiografía, ya que la geografía tiende a repudiar las descripciones genéticas del paisaje"; y, "es precisamente esta "evolución del paisaje", uno de los principales cometidos de la geomorfología" (B. W. Sparks, 1960).

La topografía revela espléndidamente en las fotografías aéreas dos órdenes de fenómenos, concomitantes pero diferentes. Consiste el primero en la exposición ante los ojos del observador del amplio paisaje aéreo, en el estado en que se encuentra en el momento de hacerse la fotografía, considerando tal paisaje de un modo estático, como ya se ha dicho; el segundo, lo constituye el despliegue ante la mirada del mismo observador, de los efectos del activo trabajo que una serie de agentes —que Walther Penck (1927), denominó "endógenos", productores de levantamientos y hundimientos, y "exógenos", destinados a destruir esas formas originales— llevan a cabo de un modo ininterrumpido y extraordinariamente eficaz, modelando continuamente e incansablemente las formas que integran la topografía, considerando tal paisaje en su aspecto dinámico. Como al mismo tiempo las formas topográficas revelan los restos o huellas que en dichas formas o relieve dejaron otros agentes y procesos que ya han dejado de actuar, Kirk Bryan (1941), calificó a la geomorfología de geología histórica, ya que aquélla considera a las formas terrestres no sólo como efectos de procesos actualmente en curso, sino como resultado de otros procesos extinguidos.

Si se pudiera acelerar el movimiento que el tiempo imprime al acontecer geomorfológico, de forma que estos acontecimientos desfilasen ante los ojos del observador como las imágenes de una película cinematográfica, se verían cambiar las formas de la superficie terrestre con un ritmo incontenible, siguiendo siempre los mismos pasos en sucesión intermina-

ble, como consecuencia de la repetición infinita de los mismos procesos.

En este desenvolvimiento, en apariencia irregular, pero en realidad ordenado y sistemático, una fotografía aérea puede ser considerada como un cuadro, registro de la realidad fisiográfica terrestre en un momento dado, entre los miles que compondrían el filme supuesto. Pero al igual que en la proyección de la película es necesario el movimiento, en el análisis geomorfológico de la fotografía aérea precisa analizar también todos los cuadros que lo precedieron, como si se tratase de una cadena, de la que dicho cuadro es solamente un eslabón. De esta manera será posible investigar la evolución, el desarrollo de las formas reproducidas en las fotografías aéreas, remontándose, allí donde sea posible, hasta el origen de las mismas, que debería coincidir con el comienzo del "filme".

Esta detallada investigación de las formas terrestres, unida a la identificación de la fase de desenvolvimiento de las mismas, dentro del natural proceso evolutivo, faculta finalmente al observador que utiliza las fotografías aéreas "para reconstruir una larga y, con frecuencia, compleja historia", como acertadamente afirma Dudley Stamp (1960).

La identidad entre la evolución de la vida orgánica y el desarrollo de las formas terrestres, sujetas ambas a leyes inexorables e iguales en esencia, movieron a W. M. Davis (1899), a dividir la evolución de las formas terrestres, especialmente por lo que se refiere al ciclo de erosión, en tres etapas principales: "juventud", "madurez" y "vejez", ni más ni menos que si se tratase de un ser humano. Con posterioridad a W. M. Davis, otros investigadores añadieron nuevos términos correspondientes a estados intermedios a los mencionados, con objeto de hacer más definida y específica la división, como los de "infancia", "adolescencia", "submadurez", "postmadurez", y "senilidad". Todas y cada una de las formas terrestres o topográficas, se encuentran en una de dichas fases de desarrollo en el momento de ser fotografiadas desde el aire, y es en esas vistas aéreas o espaciales, donde se reconocen dichas etapas de desenvolvimiento del modo más fácil, rápido y seguro, principalmente mediante el análisis del relieve terrestre.

Schultz y Cleaves (1956), opinando al respecto, sostienen que "como una forma terrestre dada es solamente el producto de un grupo de agentes naturales, la identificación de una forma terrestre es equivalente a la identificación del proceso que la originó". Lo cual simplifica el problema, aunque no es siempre viable.

(3) Relaciones de la fototopografía con la fotogeología.

Son de muy antiguo conocidas las estrechas relaciones existentes entre la topografía y la geología y, como en los casos anteriores, el uso de las

fotografías aéreas constituye el mejor método para su estudio, considerando el problema en términos generales. En determinados casos especiales, la técnica de identificación e interpretación de las fotografías aéreas, con fines geológicos, basada en el análisis de la topografía, es el único camino utilizable, pues facilita un punto de vista, el aéreo, insuperado por cualquier otro que tenga en tierra su base, y que permite descubrir rasgos, fenómenos y relaciones, que no hubieran podido observarse de ningún otro modo.

En opinión de Dudley Stamp (1960), "las formas terrestres dependen, en primer lugar, de la naturaleza e las rocas y de su disposición (en otras palabras, de la litología y de la estructura); en segundo lugar, de las condiciones climáticas, de las que, a su vez, dependen la capa de suelo y la cubierta vegetal, y bajo las cuales tiene lugar la disección de la superficie terrestre, y; en tercer lugar, de la fase o estado, dentro del ciclo de erosión". Es decir, que según el mismo autor, "la forma de la superficie o relieve del terreno, está principalmente determinada por la estructura geológica subyacente".

Esta relación entre la topografía y la geología, principalmente la estructural, se manifiesta en las fotografías aéreas en rasgos con frecuencia muy extensos. Así, cuando existe coincidencia, por lo general, de alcance regional, entre ambos elementos, topográfico y geológico, las zonas montañosas corresponderán, tratándose de rocas sedimentarias, a anticlinales, mientras que las depresiones o valles, a sinclinales. De esta forma se correlacionarán perfectamente, los rasgos positivos o negativos, tanto de la geología como de la topografía, por ser concordantes, a través del relieve terrestre. (William C. Putnam, 1947).

La mayoría de las rocas, ya sean sedimentarias o ígneas, y éstas últimas, intrusivas o extrusivas, suelen tener expresiones topográficas bien definidas, por lo que son fácilmente identificables a la primera ojeada que se lance sobre una fotografía aérea. En condiciones normales de presentación, es decir, cuando las rocas no hayan sufrido trastornos considerables o excesivos, calificados así desde el punto de vista de la identificación de sus imágenes en las fotografías aéreas, y ya fuera por uno u otro motivo, debe excluirse la posibilidad de toda confusión al respecto.

Este fenómeno se debe, a que, en efecto, las rocas no pueden ocultar en las fotografías aéreas su verdadera naturaleza, al exhibirse en los afloramientos, reproducidos por sus imágenes, de forma que cada grupo de roca tiene sus particulares características, por las que son identificables.

Cuando la topografía no puede ser adecuadamente interpretada con suficiente confianza, para servir como clave de las estructuras geológicas, "el conocimiento de las relaciones entre la topografía y la estructura, combinado con el estudio de las fotografías aéreas, puede sugerir, con

frecuencia, relaciones rápidamente confirmables o rechazables, con un corto y rápido trabajo de campo, concentrado en localidades específicas" (Levings, 1944).

Según algunos autores, hay muchas áreas en la superficie terrestre, en las que la fotografía aérea revela poca o ninguna relación entre la topografía y las estructuras geológicas superficiales. Entre ellos se encuentra Levings (1944), que cita las siguientes:

- 1) Las regiones en que el ciclo de erosión se encuentra en etapas de extrema juventud o de extrema vejez.
- 2) Las localidades demasiado gastadas por la erosión glacial, alpina o continental.
- 3) Las áreas cubiertas por productos de denudación que cubren la roca viva, como los residuos del intemperismo, aluviones, depósitos eólicos y glaciales, cenizas volcánicas, acumulaciones de restos vegetales y suelos.

De la misma manera, es L. Dudley Stamp (1960), quien afirma que "sorprendentemente, los detalles del relieve terrestre pueden mostrar poca relación con la estructura geológica".

Sin embargo, y pese a las excepciones anteriormente reseñadas, la simple enunciación de la naturaleza geológica de las mismas, fácilmente realizable en las fotografías aéreas, demuestra que siempre existe una relación entre los rasgos geológicos superficiales y los topográficos, que son su expresión, al menos en sus caracteres más generales, y aunque tales formas terrestres no revelen, por su particular condición, las estructuras geológicas subyacentes (Raymond C. Moore, 1947).

Ronald R. Hartman y Kalman N. Isaacs (1958), describen las principales características topográficas de las rocas más importantes, con expresión en las fotografías aéreas, que en reducida síntesis son las siguientes:

a) *Rocas sedimentarias.*

Lutitas horizontales en áreas húmedas y sub-húmedas: forman suaves cerros redondeados con amplias barrancas en forma de U.

Lutitas horizontales en regiones áridas: adoptan formas características de las "tierras malas" (badlands), con pináculos muy enhiestos de arcilla y crestas afiladas.

Areniscas en área húmeda: forman cerros redondeados con acantilados, confundibles con la topografía granítica, por la forma de domo o cúpula que adoptan ambas.*

* Sin embargo y, como dato distintivo, puede citarse el de que el granito presenta el efecto dómico, tanto en grande como en pequeña escala, y que sus sistemas de juntas son más confusos, por lo general, ya que ofrecen menos paralelismo. (Hartman e Isaacs, 1958).

Areniscas en zona árida: se caracterizan por cerros con pendientes mucho más pronunciadas, formando profundos cañones verticales y, con frecuencia, mesas.

Calizas en áreas húmedas: su rasgo típico topográfico es el "karst", manifestado en resumideros o sumideros (dolinas).

Sedimentos horizontales interestratificados: forman cerros de laderas suaves y redondeadas, con abruptos cambios en la topografía y perfiles de pendiente pronunciada.

Capas inclinadas de areniscas y lutitas interestratificadas: dan lugar a una topografía asimétrica de valles y cuevas, generalmente en forma de "hog back".

b) *Rocas ígneas.*

Intrusivas: constituyen cerros en forma de domo, macizos y escarpados, con contornos elípticos (principalmente el granito, que es el más frecuente).

Extrusivas: dan lugar a formas topográficas tabulares, como en la parte superior de las mesas (flujos de basalto y de andesita), con márgenes irregulares donde no son limitadas por barreras naturales.

c) *Rocas metamórficas.*

Neis: forman cerros parecidos a los de granito, pero con crestas más afiladas y angulares, y una tosca disposición paralela.

Esquistos: originan cerros redondeados, parecidos a los de las lutitas, pero con flancos más pendientes.

Pizarras: forman cerros abruptos, profundamente disecados por la erosión, con zonas irregulares pronunciadas de transición, generalmente en contacto con esquistos y lutitas.

d) *Materiales sin consolidar.*

Depósitos ácuos: constituyen las llanuras de inundación de los ríos, las de las mareas, las playas, los deltas, y los abanicos aluviales. Los aluviones continentales no son tan evidentes en las fotografías aéreas, pero frecuentemente suelen ser pantanosos.

Depósitos eólicos: adoptan formas transversales, longitudinales y de "barchan" (duna falciforme o en forma de hoz). Su lado más pronunciado y más ancho denuncia la dirección predominante del viento.

"Loess": forma crestas onduladas normales a la dirección del viento, con laderas que tienden a convertirse en verticales cuando es removida la cubierta vegetal. Cuando el "loess" es profundo se encuentra altamente disecado.

Depósitos glaciales: dan lugar a llanuras que pueden confundirse con áreas de aluvión continental, caracterizándose por su apariencia moteada, numerosos pantanos, cárcavas en forma de U —cuando el suelo es arcilloso— y cubiertas glaciales ("kettle"). Otros rasgos glaciales, como las

“morrenas”, “drumlins” y “eskers”, se pueden identificar fácilmente en las fotografías aéreas.

Formas topográficas controladas estructuralmente.

Los tres principales rasgos geológicos que pueden influir en las formas terrestres, son: los plegamientos, las fallas y las intrusiones (incluidas éstas últimas en las rocas ígneas).

Los plegamientos de rocas sedimentarias, anticlinales, sinclinales y monoclinales, principalmente, dan lugar a grandes formas topográficas, como montañas, valles y llanuras, respectivamente, cuando la topografía coincide con su determinante, la estructura geológica, es decir, cuando existe concordancia entre ambos factores del relieve. En caso contrario, o sea, cuando exista discordancia entre la forma topográfica y la geológica, que es caso menos corriente que el anterior, se produce el fenómeno denominado “inversión del relieve”, por el cual la orografía, o formas positivas del relieve, puede ser causada por estructuras sinclinales, mientras las anticlinales constituyen valles.

Las fallas afectan grandemente al relieve, al dar lugar a grandes desplazamientos de rocas que afloran en la superficie, sobre todo cuando originan grandes fosas de hundimiento, acompañadas de intensos sistemas de afallamiento secundario. Tanto en las fotografías aéreas como en las imágenes espaciales, es posible observar estas grandes fallas, muchas de las cuales pueden tener varios centenares de kilómetros de longitud.

Por lo que respecta a las intrusiones ígneas, es posible que constituyan en ocasiones, por su enorme volumen, las principales causas de las grandes formas del relieve, como parecen revelar los llamados “complejos circulares u ovals”, la mayor parte de los cuales, según se puede observar en las imágenes espaciales, deben atribuirse a manifestaciones cripto-plutónicas y, por lo tanto, que no llegan a aflorar en la superficie, pero sí se reflejan en ella de un modo rotundo.

(4) Relaciones de la fototopografía con la fotogeohidrología.

Las formas terrestres y su relieve determinan en gran manera las posibilidades que un territorio puede tener por lo que se refiere a su potencial en agua, tanto correspondiente al escurrimiento superficial como a la subterránea.

Estas posibilidades son aquilatables mediante el análisis en las fotografías aéreas de los rasgos topográficos que las reflejan en la superficie, entre los que se encuentran, el estudio de la red hidrográfica, el de la naturaleza específica de las rocas, del suelo de ellas derivado y de la vegeta-

ción que éste soporta, así como del uso que del suelo hace el hombre, es decir, de la correlación "roca-suelo-cubierta vegetal natural-agricultura". Este análisis permite hacer una valorización preliminar del potencial de agua de una zona o región, sin necesidad de la gran cantidad de datos estadísticos sobre climatología, edafología, y geohidrología, etc., que serían indispensables, de realizarse por métodos convencionales, sin contar la imperiosa necesidad de que tal información abarque un lapso todo lo más extenso que se pueda.

Tratándose de agua superficial, en las fotografías aéreas se puede reconocer perfectamente toda la red hidrográfica, como ya se ha dicho, con la delimitación exacta de las cuentas fluviales, y dentro de ellas las áreas correspondientes a lagos, lagunas, represas, pantanos y ciénagas, además de los cauces de ríos y arroyos, así como las áreas que sufran inundaciones periódicas o estacionales, aunque en el momento de tomarse las fotografías estén completamente secas o reducidas a un mínimo, como las llanuras de inundación de los ríos. Con todos estos datos resulta posible establecer la capacidad del escurrimiento.

Todas las áreas terrestres por las que el agua escurre, o en las que es retenida, deben tener mayor o menor posibilidad de albergar agua subterránea, infiltrada o filtrada desde la superficie. Es notable, por lo que se relaciona con la selección de lugares para la retención del escurrimiento en pequeñas presas, sobre todo en las regiones áridas, con objeto de aprovechar al máximo la escasa precipitación, el acierto de los campesinos que verifican tal selección empíricamente, pues siempre las sitúan en los lugares más convenientes para el almacenamiento.*

Para la localización del agua subterránea, uno de los mejores índices en las fotografías aéreas, es la existencia de vegetación, la cual se puede identificar hasta en sus menores detalles, inclusive con determinación de grupos y hasta de especies. Uno de los órganos más importantes de las plantas terrestres lo constituyen las raíces, y éstas buscan la humedad, hundiéndose en el suelo para absorber el agua que contiene, así como las sales nutritivas en ella disueltas. Donde hay plantas, pues, hay agua en mayor o menor cantidad, en el subsuelo.

"Si se interpreta correctamente la significación de la cubierta vegetal —M. L. Newbigin (1936)— sus rasgos proporcionan un medio rápido para estimar las sucesiones meteorológicas normales y las excepcionales. La vegetación, por decirlo así, constituye un mecanismo automático que re-

* Posiblemente, tal resultado no se obtenga, sino después de tanteos numerosos y de repetidos fracasos, pero como es la localización acertada la que queda definitivamente, esa es la que registra la fotografía aérea.

gistra las condiciones del ambiente. En algunos casos, como sucede con ciertos árboles, los registros abarcan periodos de tiempo mucho más amplios que los anotados por los mismos instrumentos de observación, ya que algunos árboles viven siglos. Por los rasgos del tronco de las "secoyas" de California, se han investigado oscilaciones pluviales muy prolongadas", lo que quiere decir, que "la vegetación natural registra la variabilidad de las lluvias con más exactitud que el método de los promedios meteorológicos".

Al mismo tiempo que se delinean en las fotografías aéreas las áreas cubiertas de vegetación, clasificándolas, por ejemplo, con arreglo a su densidad, se localizan los cultivos, o sea, el uso que el hombre hace del suelo, tanto en el presente como en el pasado, mediante la identificación de restos perceptibles de tales cultivos desaparecidos. Todos estos rasgos topográficos son datos indicadores de la presencia de agua subterránea.

Las rocas sin consolidar, como las de origen aluvial, deben ser cuidadosamente analizadas en las fotografías aéreas, por lo que respecta al agua subterránea, principalmente por su expresión topográfica, y por las relaciones de esta expresión con la fisiografía y la geomorfología. En dicha manifestación, reflejo de la topografía, se podrá igualmente identificar la existencia de arenas o gravas, y su extensión, así como su profundidad y espesor, en cierto modo. La presencia de cubierta vegetal será un signo favorable.

En las rocas consolidadas se investigarán los fenómenos tectónicos, como los sistemas de juntas y de fallas o cualquier otro género de fracturas, tanto en las sedimentarias estratificadas como en las macizas y, en las primeras, los principales elementos de la estratificación, como rumbo y echado, precisándose la gradación del buzamiento hasta donde sea posible, lo que se puede verificar con un pequeño margen de error, en las fotografías aéreas. En caso necesario, es decir, cuando no sean posibles mayores precisiones, bastará con indicar si el echado es horizontal o vertical, y si es inclinado, si tal inclinación es moderada o muy acusada, etc.

Naturalmente, por lo que al agua subterránea se refiere, al igual que por lo que respecta a la superficial, la principal influencia de las formas topográficas está determinada por el carácter de su relieve: las formas con relieve negativo, serán las más favorables para el almacenamiento de agua de una u otra forma, mientras que las formas con relieve positivo serán las más inconvenientes, dicho en términos generales.

La extracción del agua del subsuelo produce la compactación del mismo y el consiguiente descenso de la superficie del terreno, como ocurre en la ciudad de México, en Berlín, en Amsterdam, Venecia, etc.

De lo dicho anteriormente se deduce la Décima Regla Fundamental, que dice así:

“LAS FORMAS TOPOGRAFICAS, QUE CUBREN EN SU TOTALIDAD LAS TIERRAS EMERGIDAS DEL PLANETA, AL SER OBSERVADAS EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS Y EN LAS IMAGENES ESPACIALES, PRUEBAN QUE ESTAN DE TAL MODO CONDICIONADAS POR LA ESTRUCTURA GEOLOGICA, TOTAL O PARCIALMENTE, QUE EL ESTUDIO DETENIDO DE TALES FORMAS LLEVARA AL CONOCIMIENTO DE SU NATURALEZA GEOLOGICA, DE LA CUAL SON AQUELLAS DIRECTO Y NATURAL PRODUCTO, TENIENDO SIEMPRE EN CUENTA EN ESTE ANALISIS EL FACTOR CLIMATICO”.

11.— LUGAR, SITIO O EMPLAZAMIENTO.

El lugar en que se localiza un objeto o rasgo constituye una valiosa y segura clave para su identificación, hasta el punto de que su condición puede cambiar radicalmente según el emplazamiento en que se encuentre. Un molino de agua o de viento denotará su verdadero carácter, según se halle en la ribera de un río o en lo alto de un cerro o de una superficie despejada.

La circunstancia de que muchos rasgos y objetos de la superficie terrestre se encuentren supeditados a la naturaleza del medio en que se localizan, se acentúa especialmente en el campo de la fotosilvicultura, fotoedafología, fotogeografía y, naturalmente, de la fotogeología, en general.

El lugar o emplazamiento topográfico se clasifica, según Spurr (1948), principalmente por su elevación, en alto y bajo. Cabe así distinguir, por ejemplo, en una corriente fluvial, el nivel ligeramente inferior correspondiente a los canales de drenaje, y el ligeramente superior, en que se encuentra el terreno comprendido entre dichas corrientes. Otros términos se emplean para distinguir sitios o emplazamientos, principalmente en silvicultura, como lugares altos y secos, o bajos y húmedos, de fondo seco o de fondo húmedo, etc.

Tiene también gran importancia el sitio o emplazamiento en fotogeo-hidrología y en fotoedafología, pues denota las relaciones de humedad del suelo y del subsuelo. De este modo, utilizando fotografías aéreas, mediante las cuales se analizaron las condiciones geológicas y topográficas en un área de Saskatchewan, Canadá, en la vecindad del lago Agassiz, se clasificaron los suelos en: 1) de meseta; 2) de pendiente glacial; 3) de delta; 4) lacustre; 5) de tierras bajas y; 6) fluviales. Los de meseta son suelos arcillosos, con alto contenido de agua; los de pendiente glacial se

encuentran en niveles superiores a la línea de playas más altas del lago, conteniendo mucha arcilla, pero bien drenada; los de los arenosos deltas se localizan en los bordes de cada nivel del lago; los lacustres son suelos moderadamente bien drenados, localizados entre la más elevada línea de playa y el antiguo fondo del lago, conteniendo sedimentos depositados en el mismo; los suelos de tierras bajas corresponden a los poco drenados fondos del viejo lago glacial, y; finalmente, los fluviales consisten en suelos debidos a sedimentos arrastrados por las corrientes, muy bien drenados y muy fértiles.

Para R. N. Colwell (1952), tiene mucha importancia para la identificación el emplazamiento o lugar de un objeto o rasgo al relacionarlo con otros rasgos u objetos —como ya se adelantó al describir la clave correspondiente a las relaciones con rasgos u objetos asociados— puesto que muchos de ellos resultan de difícil o imposible identificación, separados de los demás objetos que los rodean y, sobre todo, sin atender al particular lugar en que se localizan.

El sitio o emplazamiento es igualmente tan importante para identificar los rasgos u objetos culturales o debidos a la mano del hombre, como para identificar los rasgos u objetos naturales; muchos tipos de vegetación, por ejemplo, están confinados en lugares topográficos determinados, como pantanos, riberas de ríos, llanos arenosos, etc. En muchos de estos casos es posible identificar las especies vegetales en las fotografías aéreas, previa identificación del sitio o lugar en que se localizan; en otros casos, resulta más factible la identificación del emplazamiento, a través de las especies vegetales que existan en el mismo. Sin embargo, el procedimiento más práctico y general consiste en la identificación combinada y simultánea del sitio o emplazamiento y de la vegetación que se encuentre sobre el mismo, lo que facilita el poder lograr una impresión también combinada del área sometida al análisis, que puede resultar así más correcto y exacto que, si dichos factores, emplazamiento y vegetación, se identificasen separadamente, es decir, independientemente uno de otro.

La Undécima Regla Fundamental, pues, manifiesta que:

“MUCHOS RASGOS Y OBJETOS NATURALES O ARTIFICIALES, CUYA VERDADERA NATURALEZA RESULTA DIFÍCIL O IMPOSIBLE CONOCER DIRECTAMENTE, SE PUEDEN IDENTIFICAR CON SEGURIDAD, ANALIZANDO DETENIDAMENTE EL LUGAR, SITIO O EMPLAZAMIENTO QUE OCUPAN, DE FORMA QUE SEGUN SEA ESTE, ASI SERA LA CONDICION DEL INCOGNITO RASGO U OBJETO, LO QUE ES VALIDO PARA CIERTOS RASGOS GEOLOGICOS”.

12.— POSICION O GRADIENTE.

El gradiente del terreno o posición con referencia a un plano horizontal, en el que se encuentre el objeto o rasgo considerado, revela el carácter de los mismos, ya que, según su particular condición, son el producto o resultado, hasta cierto punto, de determinado gradiente, al que deberán necesariamente acomodarse. Desde rasgos naturales, como los depósitos aluviales, hasta rasgos culturales, como el trazado de un canal de riego y los cultivos que fertiliza, exigen la presencia de una superficie con determinado gradiente, para poder existir.

“Se puede decir —afirma F. H. Lahee (1952)— que la topografía se compone de superficies inclinadas. Hasta las llanuras presentan alguna inclinación, y aquéllas que son esencialmente llanas, muestran con frecuencia algo de inclinación en una dirección definida. La inclinación de una superficie cualquiera es un rasgo que merece una explicación relacionada con el modo de desarrollarse la forma topográfica a la cual está asociada”.

En esta tarea, el identificador puede obtener magníficos resultados al evaluar en las fotografías aéreas los gradientes naturales de las imágenes que analice, pues revelan la presencia de multitud de factores relacionados principalmente con el clima, la textura de las rocas, la estructura geológica y la tectónica, la erosión y, en general, con los efectos del intemperismo.

Por eso, dice B. A. Tator (1960), que “el gradiente superficial es, con frecuencia, una importante clave del carácter de los materiales subyacentes; pero muchas pendientes deposicionales o tectónicas existen en la Naturaleza que no se relacionan con el tipo de las rocas. Estudios recientes han revelado que las pendientes tectónicas son, con mucho, más comunes de lo que se había pensado”.

Ya W. Penck (1924), intentó establecer una relación entre la naturaleza de una pendiente y la historia tectónica de una región: “las pendientes convexas se formarían en períodos de levantamiento acelerado; las pendientes rectas en períodos de levantamiento constante, y; las pendientes cóncavas en períodos de levantamiento decreciente o de estabilidad”. Para B. W. Sparks (1960), “la sección de pendiente recta es más característica de las áreas de fuerte relieve, mientras en las tierras bajas las pendientes son esencialmente convexas arriba y cóncavas abajo. Las pendientes que no contienen estos dos elementos son, en cierto modo, anormales. El perfil cóncavo de la parte inferior se asemeja grandemente al largo perfil de un río y, fácilmente lleva a la conclusión de que el escurrimiento superficial es, probablemente, el principal proceso en operación en dicha parte inferior de la pendiente. La convexidad superior

requiere la operación de diferentes procesos". Estos procesos que forman el segmento convexo superior de la pendiente ha sido objeto de considerable controversia. La explicación más simple, pero no del todo convincente, es la de que, cualquier ángulo atacado por el intemperismo desde dos lados, rápidamente se redondea. Otra explicación achaca la convexidad al deslizamiento del suelo y al lavado difuso.

Estas pendientes tectónicas, en efecto, son tan importantes que constituyen uno de los elementos más notables de dos de los factores claves del sistema de identificación de las imágenes en las fotografías aéreas: el constituido por las "alineaciones o rasgos alineados", y el formado por las "rupturas de pendiente".

Independientemente de tales declives tectónicos, el gradiente de los materiales que integran la superficie terrestre, se encuentra determinado en gran manera por el grado de consolidación de las rocas que lo componen, de forma que, según sean consolidadas o no, así será la inclinación que tengan con relación a la horizontal. "La posición de los materiales en su estado de estabilidad —asevera D. R. Lueder (1959)— tiene, frecuentemente, gran significación en la interpretación de las texturas predominantes, extensión y tipo de estratificación, etc."

En los depósitos no consolidados, los materiales permanecen en un estado de equilibrio temporal, conocido con el nombre de "ángulo de reposo", que es el ángulo vertical comprendido entre el plano horizontal mencionado y el correspondiente al declive o inclinación de la superficie de las rocas no consolidadas de que se trate, cuando sus partículas dejan de deslizarse por la pendiente a causa de la fricción o rozamiento con las que ya han conseguido alcanzar dicho equilibrio. Sobre este particular, B. W. Sparks (1960), añade que "el ángulo de pendiente constante puede decrecer si el material que lo compone se va haciendo más y más pequeño, puesto que el material más fino tiene un ángulo de reposo más bajo que el material grueso. La disminución del tamaño puede ser afectada por la cubierta vegetal, que reduce el efecto de la gravedad sobre los fragmentos y activa el intemperismo químico".

La evaluación de este "ángulo de reposo" en la fotografías aéreas puede conducir, pues, a la identificación de los materiales que constituyen la superficie del área considerada. Este temporal equilibrio gravitativo puede desaparecer por cualquier causa, climática, tectónica, etc., reanudándose entonces el deslizamiento hasta que los materiales no consolidados vuelven a encontrar su "ángulo de reposo", o bien puede desaparecer, también por gravedad, al producirse un hundimiento en las rocas que los soporten, como suele ocurrir en las calizas cavernosas.

Para los materiales no consolidados, las pendientes superiores a 45° son muy raras (M. Derruau, 1958), y el máximo "ángulo de reposo" se

encuentra en las gravas de grano grueso y angular, que oscila entre 35° y 42° (F. H. Lahee, 1952), mientras que las gravas de granos redondeados no suelen llegar a 35° . En las cenizas y "lapilli" volcánico alcanza, desde 35° —que es el ángulo de reposo promedio de un cono volcánico activo— hasta 40° . Los taludes de detritos en los granitos tienen una pendiente de 37° , mientras que en los de las calizas, el declive oscila entre 22° y 34° (Fig. 8 A y B). En general, puede aceptarse la afirmación del primero de los autores anteriormente citados de que "con relación a la magnitud de las pendientes, el hombre no advertido comete, con frecuencia, notables errores", pues siente tendencia a exagerarlas.

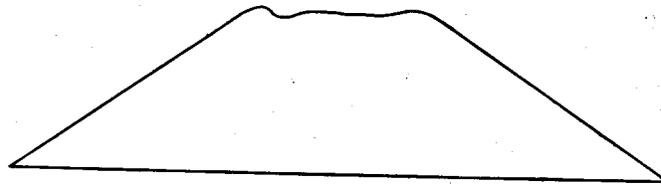


Figura 8-A

Perfil de un cono de cenizas volcánicas.
(Según J.S. Diller).

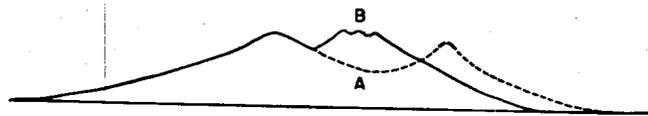


Figura 8-B

Perfil del Somma:

A, antes del año 79 (d.C.);

B, después de la erupción de 1879. (Según A. Harker).

Esa tendencia a la exageración de la evaluación de las vertientes, existe igualmente por lo que respecta a la pendiente de los ríos. El mismo M. Derruau manifiesta sobre este particular que "es raro que un curso de agua de caudal superior a $100 \text{ m}^3/\text{s}$, sobrepase el 1 por 1,000, fuera de las áreas montañosas. Tal es la pendiente del Allier medio o del Loira en la cuenca de Forez. El Ródano, no obstante su proverbial fuga, solo

alcanza esa pendiente entre Lyon y el mar, en nueve lugares. La pendiente del Sena, aguas abajo de París, no es mayor del 1 por 10,000; la del Amazonas, en su curso brasileño, tiene un promedio de 2 por 100,000”.

Los materiales húmedos pueden soportar mayores pendientes que los materiales secos, entre las rocas no consolidadas, y tal ocurre con las arenas, y lo mismo sucede con las de grano anguloso respecto a las de grano redondeado, como se ha visto con las gravas. También es algo más elevado el ángulo de reposo bajo el agua, con tal de que no sea corriente, pues puede entonces reducir el gradiente en gran manera, y esta es la causa de que existan abruptos relieves submarinos formados por materiales poco o nada consolidados.

La arcilla y el “loess”, y materias similares, que tienen cierta aptitud para adquirir una semiconsolidación, pueden llegar hasta a formar acantilados verticales (Fig. 9), mientras que cuando están empapados en agua, el barro y la arcilla pueden deslizarse hasta por pendientes de sólo 2° ó 3° . “De hecho la cantidad relativa de agua entre las partículas de cualquier roca formando un manto tiene significativa influencia sobre el ángulo bajo el cual el material comenzará a deslizarse. En muchas laderas de colinas, con frecuencia de inclinación moderada, existe una propensión a deslizarse cuesta abajo, proceso que, de ordinario, es intermitente, y que facilita la humedad y la helada” (F. H. Lahee, 1952).

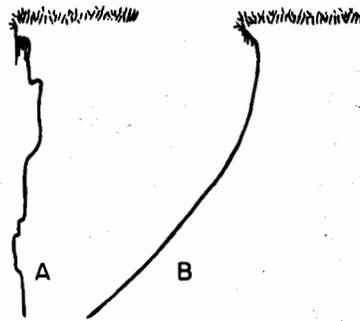


Figura 9

A, perfil de un acantilado de loess; B, perfil de un acantilado de tilita. (Según F.H. Lahee).

La superficie de los sedimentos sin consolidar puede ser constructiva y destructiva, caracteres que se pueden observar con facilidad en las fo-

tografías aéreas. En los depósitos estratificados, cuando la superficie inclinada o declividad de las rocas coincide con el plano de estratificación, tal superficie suele ser destructiva y se denomina, por ello, "gradiente o inclinación de buzamiento", siendo la consecuencia de la erosión natural de un estrato blando que desaparece, depositado sobre otro más duro, que constituye la superficie subsistente. Son, por el contrario, superficies constructivas, todas aquéllas que resultan de la acumulación de materiales acarreados por diversos agentes, como las de naturaleza eluvial o aluvial.

Por regla general, y en un régimen normal, son las rocas más resistentes las que tienen gradientes mayores. Así, en clima seco, las areniscas forman una típica topografía de riscos y acantilados, mientras las lutitas dan lugar a suaves pendientes de bajo ángulo de reposo. A su vez, las formaciones sedimentarias de rocas débiles y duras interestratificadas, son corrientemente distinguibles en las fotografías aéreas, por la uniformidad de sus capas a lo largo del rumbo de las mismas y, por la topografía de escarpas pronunciadas para las rocas resistentes, y de pendientes suaves para las débiles, en posiciones generales casi llanas, o bien, si la topografía es inclinada, de cuevas y valles. Según P. Macár (1946), esto se debe a que "las rocas más duras que sus vecinas se caracterizan, evidentemente, a pendiente igual, por una erosión vertical menor, por lo que tienen la tendencia a permanecer con el mismo relieve, y a destacar más o menos sobre el perfil longitudinal de las corrientes fluviales. El afloramiento de esta clase de rocas se marca, con frecuencia, por "caídas" o "saltos" (como los del Niágara y Yellowstone); por "rápidos" (como los del Danubio en las Puertas de Hierro); o simplemente, por una pendiente más fuerte que el perfil longitudinal (como la del Meuse al atravesar las Ardenas), es decir, por un acrecentamiento más o menos marcado de la pendiente, que puede llegar hasta la vertical". En resumidas cuentas, según fórmula de F. H. Lahee (1952), las superficies erosionadas de la roca madre "deben su inclinación a un equilibrio entre los coeficientes de meteorización pasiva y de corrosión activa".

El gradiente medio de ciertas superficies constituye igualmente un dato muy valioso para determinar el grado de plasticidad inicial de la roca que la constituye, como ocurre con algunas lavas muy fluídas, cuyos mantos o flujos se pueden extender hasta muy lejos de su punto de origen antes de enfriarse, con un declive que puede ser menor de 3° (Fig. 10).

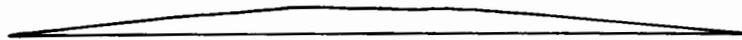


Figura 10

Perfil del Mauna Loa, cono de lava. (Según G. E. Dutton).

Para P. Macar (1946), el aumento de la erosión al producirse en una pendiente fuerte, queda compensado por la mayor resistencia de la roca dura, ya que la erosión retardada en éstas es la que origina pendientes generalmente más fuertes que en las rocas blandas. Este fenómeno se comprueba fácilmente en los terrenos calcáreos, donde la gran permeabilidad de los mismos reduce fuertemente la acción del escurrimiento. Los mayores gradientes corresponden a las paredes verticales de los "cañones", como en el Gran Cañón del Colorado, y caracterizan generalmente las estructuras tabulares.

En definitiva, fuerte o débil, la pendiente real de una superficie o de un curso de agua, puede o no ser una "pendiente de equilibrio", que es aquella que, en las actuales condiciones, no tiende a aumentar ni a disminuir sensiblemente o, dicho de otro modo, en la que los agentes de la acumulación y los agentes de la erosión equilibran su acción. Ayuda mucho al identificador y al intérprete de fotografías aéreas, el analizar los factores que han contribuido a establecer dicha "pendiente de equilibrio" y, en el caso de que ésta no exista, las causas que expliquen la situación".

Según B. A. Tator (1960), la influencia que ejerce el clima en los ángulos de pendiente de ciertos materiales, es notoria. Tal sucede con las calizas en los climas cálidos y húmedos, con expresión topográfica suave, mientras que en los climas fríos y secos las calizas tienen una topografía rugosa y escarpada. Igualmente en áreas húmedas y subhúmedas, algunas rocas intrusivas básicas son excesivamente vulnerables a la intemperización química, dando lugar a una topografía suave y negativa, mientras que en las tierras áridas, estas mismas rocas originan una topografía accidentada y positiva (Fig. 11).

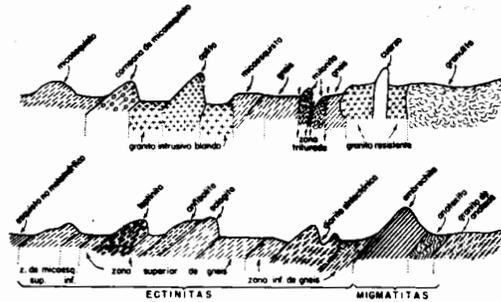


Figura 11

Esquema indicador comparativo del grado de resistencia de algunas rocas cristalinas del macizo central francés. (Según M. Derruau).

El hecho de que —como dice M. Derruau, 1958— “toda superficie terrestre presenta una declividad que es necesario evaluar: no existe pendiente nula”, hace que, la distinción en los levantamientos topográficos entre “planimetría” y “altimetría” 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 cierta pendiente. El mapa figura sus proyecciones sobre una superficie horizontal convencional”.

Por ello, la Duodécima Regla Fundamental, se formula de este modo:

“LA POSICION O POSTURA DE LAS ROCAS EN LA SUPERFICIE TERRESTRE, DENOTA SU GRADO DE CONSOLIDACION, O DE COHESION DE LOS ELEMENTOS QUE LAS COMPONEN, DE FORMA QUE LAS MENOS CONSOLIDADAS SOPORTARAN MENOR GRADIENTE Y TENDERAN HACIA LA POSICION HORIZONTAL, MIENTRAS QUE LAS MAS CONSOLIDADAS O CRISTALIZADAS, TENDRAN MAYOR GRADIENTE Y TENDERAN HACIA LA VERTICALIDAD, DE CUYA PROPIEDAD SE DERIVA LA FACULTAD DE PODERLAS IDENTIFICAR DE UN MODO GENERAL, POR LA SIMPLE OBSERVACION ESTEREOSCOPICA DE SU POSICION TOPOGRAFICA, FACILMENTE DETERMINABLE EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS”.

13.— RUPTURA DE PENDIENTE.

El sistema de pendientes regulares —dice De Martonne (1951)— se encuentra frecuentemente interrumpido por accidentes, “rupturas de pendiente”, como dicen los topógrafos, bordes de meseta o de terraza, escarpas, rellanos de vertiente. Estos accidentes deben ser registrados por las curvas de nivel o isohipsas, con su aproximación o alejamiento, así como por ganchos y ángulos característicos.

La “ruptura de pendiente” la define M. Derruau (1958), como “las bruscas variaciones del declive a lo largo de una vertiente o de un “thalweg”. Estos cambios de pendiente —“rupture de pente”, de los autores franceses, y “break or change in slope”, de los de habla inglesa— son en muchos casos evidentes, pero en otras muchas ocasiones son difíciles de identificar.

Resulta, en efecto, normal, que la erosión cause estas rupturas de pen-

diente, así como la actividad tectónica, integrando uno de los más importantes factores analíticos en el sistema de identificación de las imágenes en las fotografías aéreas. Son de esta opinión, entre otros, L. Desjardins y S. Grace Hower (1939), según los cuales las “rupturas de pendiente” constituyen “el más valioso criterio para dibujar un estrato con el estereoscopio, en las fotografías aéreas”. Estas “rupturas” —afirma De Martonne (1951), “imprimen su original sello al relieve, su acento al paisaje”, y son, también, “las que condicionan muchos de los hechos de la geografía física e incluso económica”. Lo que se debe a que, del mismo modo que las corrientes de agua, por ejemplo, se adaptan a las pendientes y a sus rupturas, igualmente se amoldan a ellas gran parte de las obras que el hombre ejecuta sobre la superficie terrestre, especialmente las relacionadas con las comunicaciones, como carreteras, ferrocarriles y canales. Unas veces son las rupturas de pendiente las que hacen posible un rasgo, ya sea natural o cultural, mientras que otras veces son ellas las que lo impiden.

No obstante ser muy diversos y de distinta categoría los fenómenos que originan las “rupturas de pendiente”, se pueden reducir a los tres principales grupos genéticos siguientes:

- a) *Rupturas de pendiente debidas a causas litológicas.*— Son las más abundantes y se basan en la varia naturaleza de las capas geológicas, es decir, en la diversa constitución de las rocas, que hace que unas sean débiles y otras fuertes, lo que determina se comporten diferentemente ante los agentes que constantemente las atacan, disociándose las primeras y resistiendo las segundas la acción de los mismos (Figs. 12 y 13).



Figura 12

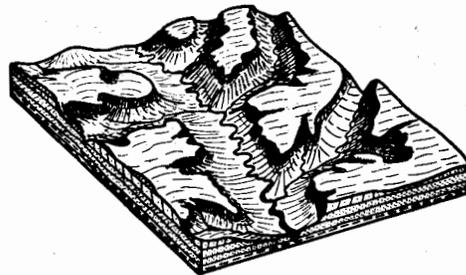


Figura 13

Fig. 12.—Escarpa litológica constitutiva de ruptura de pendiente. (Según M. Derrouau). Fig. 13.—Valles en cornisa constitutivos de rupturas de pendiente a causa de la influencia de rocas diferentes. (Según. E. de Martonne).

b) *Rupturas de pendiente debidas a causas tectónicas.*— Son las más evidentes y notables, pero no tan extensas como las del grupo anterior, aunque su importancia y volumen aumenta continuamente, a la luz de las más recientes investigaciones. Su evidencia, tanto en las fotografías aéreas como en el propio campo, se deriva del hecho de llegar a originar grandes desniveles, de rectilíneo trazado y prolongada continuidad. Muchas veces se deben las “rupturas de pendiente” de esta clase a causas profundas, poco claras para un análisis genético en las fotografías aéreas, pero fácilmente observable en las mismas, hasta el punto de que un gran número de estas “rupturas”, son perfectamente identificables en sus imágenes, mientras que no son localizables en el terreno, como ya anteriormente quedó apuntado (Figs. 14 y 15).

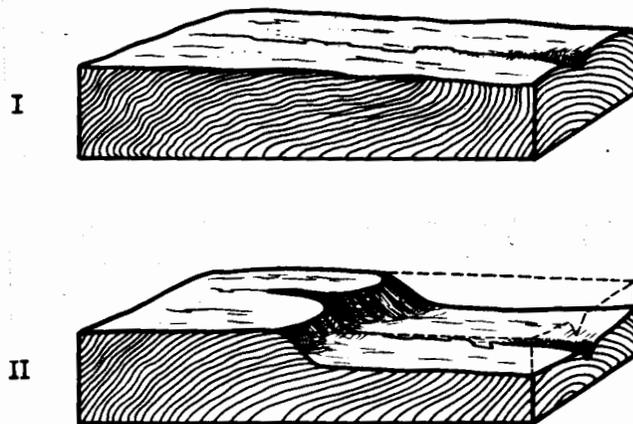


Figuras 14 y 15

Rupturas de pendiente debidas a escarpas causadas por dislocaciones tectónicas. (Según M. Derruau y E. de Martonne, respectivamente).

c) *Rupturas de pendiente debidas a fenómenos erosivos.*— Muchas “rupturas de pendiente” que no pueden clasificarse entre las correspondientes a los dos primeros grupos citados, o sea, las debidas a causas litológicas o tectónicas, deben su existencia a diferentes formas de erosión superficial normal y a la erosión subterránea. “Las altas montañas, sobre todo —dice De Martonne (1951), a quien corresponde esta clasificación general de las “rupturas de pendiente”— ofrecen particularidades interesantes al respecto, al mostrar la obra de fuerzas nuevas: erosión glacial y torrencial, y descomposición mecánica por rompimiento de las paredes rocosas sometidas al hielo, que se produce en la zona de las nieves eternas”.

En resumen, dice el mismo autor, “las condiciones normales del relieve, tal como se ofrecen generalmente al observador en la zona templada, es decir, el modelado regular resultante del desarrollo armonioso de una red o sistema de valles, cuyo agente principal es la erosión de las aguas corrientes, se encuentra accidentado por “rupturas de pendiente”, en gran parte debidas a causas geológicas, como las originadas por la diferente resistencia de las rocas, y por la dislocación de las mismas. Pero otras “rupturas de pendiente”, que la geología no puede explicar, se deben al trabajo de los diferentes agentes del modelado, como la excavación del lecho y el aluviamiento, la descomposición química y la disgregación mecánica, escurrimiento y hundimiento”. (Figs. 16-I y II, 17 y 18).



Figuras 16-I y 16-II

Las dos etapas de la formación de una ruptura de pendiente constituida por una escarpa de erosión. (Según M. Derruau).

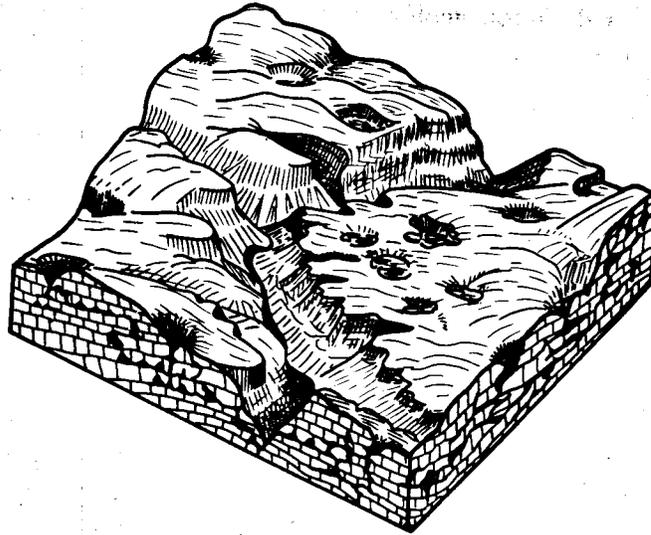


Figura 17

Rupturas de pendiente debidas a erosión diferencial. (Según E. de Martonne).

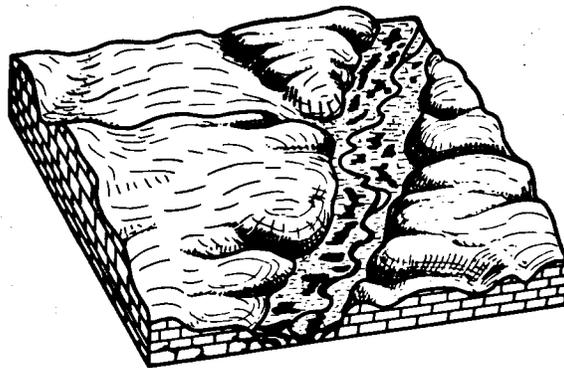


Figura 18

Rupturas de pendiente debidas al contacto de zonas de erosión diferente. (Según E. de Martonne).

Los factores de índole geológica, litológicos y tectónicos, son los que originan los mayores contrastes, pero la influencia preponderante en la génesis de las "rupturas de pendiente", se debe a las formas de erosión normal.

M. Derruau (1958), que dedica especial atención a las rupturas de pendiente, señala entre los casos debidos a causas litológicas, los correspondientes a los rebordes de capas duras, en regiones en que sólo han sido erosionadas las rocas blandas (Fig. 19). Estos rebordes originan escarpas, que pueden deberse:

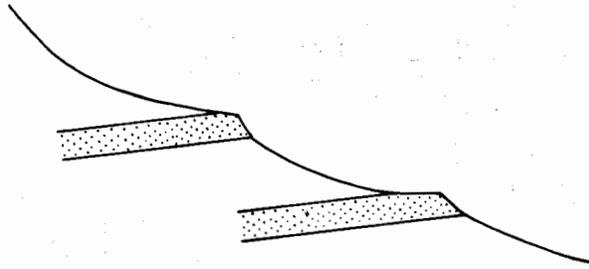


Figura 19

Niveles-base locales causados por rocas resistentes.
(Según S. W. Woolridge).

- a) a una falla.
- 2) al límite superior de un ciclo de erosión.
- 3) al contacto entre las rocas duras que formarían los macizos altos, y las rocas más débiles, en las cuales se habría labrado, por erosión diferencial o selectiva, el modelado de un pie de monte.

Entre las rupturas de pendiente de origen tectónico destacan las causadas por fallas y por pliegues. Para identificar estos rasgos, se hace preciso seguir en las fotografías aéreas, con más atención que en otros casos, la continuidad de los estratos, para observar cualquier posible ruptura o discontinuidad en los mismos, anotando las variaciones en la pendiente, que pueden revelar su carácter tectónico.

Las rupturas de pendiente causadas por la erosión exclusivamente, no debida a diferencias litológicas, suelen identificarse por la presencia de dos niveles, superior e inferior, cada uno de los cuales es el producto de un largo desgaste erosional. Puede, en tal supuesto, ser reducida inicialmente toda la región al nivel superior, para volver a ser en parte cepillada

al nivel inferior, durante un segundo período, pero sin tiempo suficiente para reducir el área entera a dicho bajo nivel. De este modo, una parte de la región permanece intacta, al nivel superior, dando lugar a que, entre éste, testigo del trabajo erosivo del período inicial, y el nivel inferior, resultado del trabajo del segundo período, se esboce una escarpa, que representa el límite de la extensión alcanzada por el segundo ciclo de erosión, a expensas de la superficie modelada por el primero. A estas rupturas de pendiente de origen erosivo se las denomina también "cíclicas".

Sin embargo, en la práctica resulta difícil precisar el origen de la ruptura de pendiente en infinidad de casos, sobre todo cuando el rasgo es, a la vez, de origen litológico, tectónico, y erosional o cíclico, o bien, cuando la ruptura o escarpa, de origen tectónico, ha retrocedido por efecto de la erosión remontante hasta detenerse o fijarse en el contacto de una roca dura (Fig. 20).

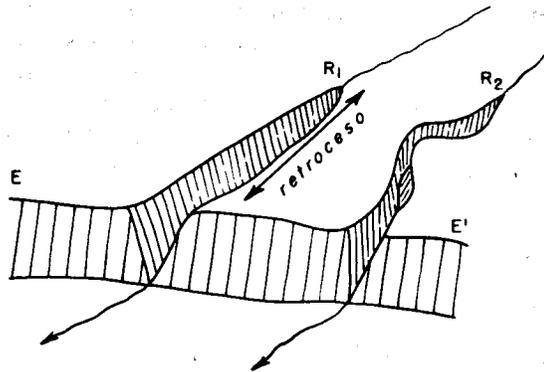


Figura 20

Retroceso de una ruptura de pendiente por erosión regresiva. (Según M. Derruau).

“Esta complejidad de la interpretación se debe —añade M. Derruau (1958)— a la interdependencia de los diversos factores citados. Movimientos tectónicos y erosión actúan frecuentemente en el mismo momento, o con una ligera falta de sincronización, mas en todo caso, relacionados. El esquema de cada período de evolución del relieve es, poco más o menos, el siguiente: un movimiento tectónico (plegamiento, dislocación, levantamiento en masa), crea un relieve y reaviva la erosión. Esta

ataca el relieve y acaba por nivelarlo, más antes de llegar a ello, por ser diferencial, trabaja desigualmente, según las rocas puestas al descubierto durante la denudación y, así, despeja las formas litológicas. Este esquema puede ser alterado por diversas interrupciones; continuación de los movimientos tectónicos en el mismo sentido que los primeros, o en sentido inverso; modificación, por cambios climáticos, de la fuerza de los agentes de erosión y de sus procesos. Pero descansando todo sobre la base del discurso morfogénico”.

Desde el punto de vista topográfico, las rupturas de pendiente dan origen a formas características del relieve, con pendientes que pueden gradualmente pasar desde la horizontal hasta la vertical,* circunstancia que, según su inclinación, sirve para calificarlas con diversas denominaciones, ya bien confirmadas por el uso.

Todas estas rupturas de pendiente se derivan, principalmente, de las estructuras monoclinales, es decir, de las formadas por estratos paralelos y más o menos inclinados en una sola dirección o sentido. Al actuar sobre ellas, la erosión pone al descubierto las capas duras, dando lugar a rupturas de pendiente, tanto en las capas horizontales o tabulares, como en las inclinadas en mayor o menor grado, o en las ligeramente plegadas, flexiones o pliegues monoclinales que enlazan dos sectores o zonas de capas no dislocadas. Como apunta De Martonne (1951), estas rupturas de pendiente “están determinadas por la estructura, pero modeladas por la erosión” (Fig. 21).

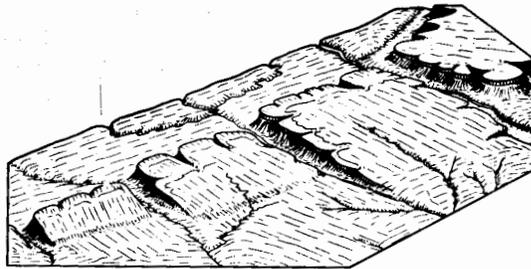


Figura 21

Diagrama mostrando la transición desde un “hogback”, a través de una “cresta homoclinal” y una “cuesta”, a una “mesa”, formas de relieve constitutivas de rupturas de pendiente determinadas por el diferente buzamiento de la roca. (Según W.M. Davis, modificado por W.D. Thornbury).

* Ya se hizo notar oportunamente, que en la Naturaleza no existe, prácticamente, ningún terreno estrictamente horizontal; por ello, esta calificación se aplica aquí a las superficies sub, semi, o pseudo-horizontales.

Las estructuras que tienden hacia la horizontalidad son las más simples y se encuentran, por lo general, en las llanuras y en las mesetas, o sea, en las regiones que han sido levantadas poco más o menos horizontalmente, por extensos movimientos epirogénicos (P. Macar, 1946). La erosión sobre esta clase de estructuras, en las cuencas de sedimentación, motiva relieves diferenciales, ya que en ellas alternan las capas duras y las blandas, superpuestas unas a otras, a lo largo y a lo ancho de grandes espacios y sin solución alguna de continuidad.

Cuando las capas horizontales presentan a los agentes erosivos una resistencia semejante, por tener una estructura homogénea, las formas resultantes del terreno no ofrecen caracteres especiales, dando lugar, cuando la erosión no es violenta, a un paisaje de colinas que refleja la superficie original, tanto por sus lomas casi planas, como por la regular distribución de sus cimas; pero cuando la erosión es violenta, como es la regla general, por ejemplo, en las mesetas, aquélla profundiza las capas, haciendo que vayan aflorando las de diferente dureza, dando con ello lugar a que se produzcan formas particulares del relieve, algunas con paredes verticales, que caracterizan a las estructuras tabulares y, en las que, "siendo las diaclasas verticales, los sistemas de juntas que cortan tienen la tendencia, sobre todo en las rocas duras, a limitar temporalmente la acción de la erosión" (P. Macar, 1946).

Al dejar la erosión al descubierto las **capas** resistentes, se producen perfiles duraderos, con "cornisas" en lo alto, de pendiente casi vertical, a veces, y "taludes" abajo, de suave pendiente (*Fig. 9*), correspondientes éstos a las capas blandas. "Si las capas duras son gruesas se pueden formar abrigos debajo de las cornisas; si son delgadas, los resaltes desaparecen rápidamente bajo el manto de detritos que desciende sobre la vertiente, salvo en climas áridos" (M. Derruau, 1958). Cuando las cornisas subsisten y coronan las vertientes se forman los denominados "valles de cornisas" (*Fig. 13*).

A estas estructuras tabulares y horizontales corresponden las rupturas de pendiente derivadas o constituídas por diversas formas del relieve, como "terrazza estructural", "terrazza fluvial", "glint", "mesa" "butte", etc. (*Fig. 22*).

Las "terrazas estructurales" están formadas, según C. A. Cotton (1952), por "estratos resistentes sucesivos, uno debajo de otro. Al ser reducidos los superiores emergen los de abajo, como "bancos estructurales". El reborde de estas capas horizontales —es decir, los acantilados debidos a la erosión— sobre una capa más baja, se denomina "glint", nombre dado a dichos rasgos en las capas del Paleozoico de la región del Báltico, en el escudo feno-escandinavo y, de allí tomado y generalizado.

También las superficies topográficas que forman las terrazas fluviales,

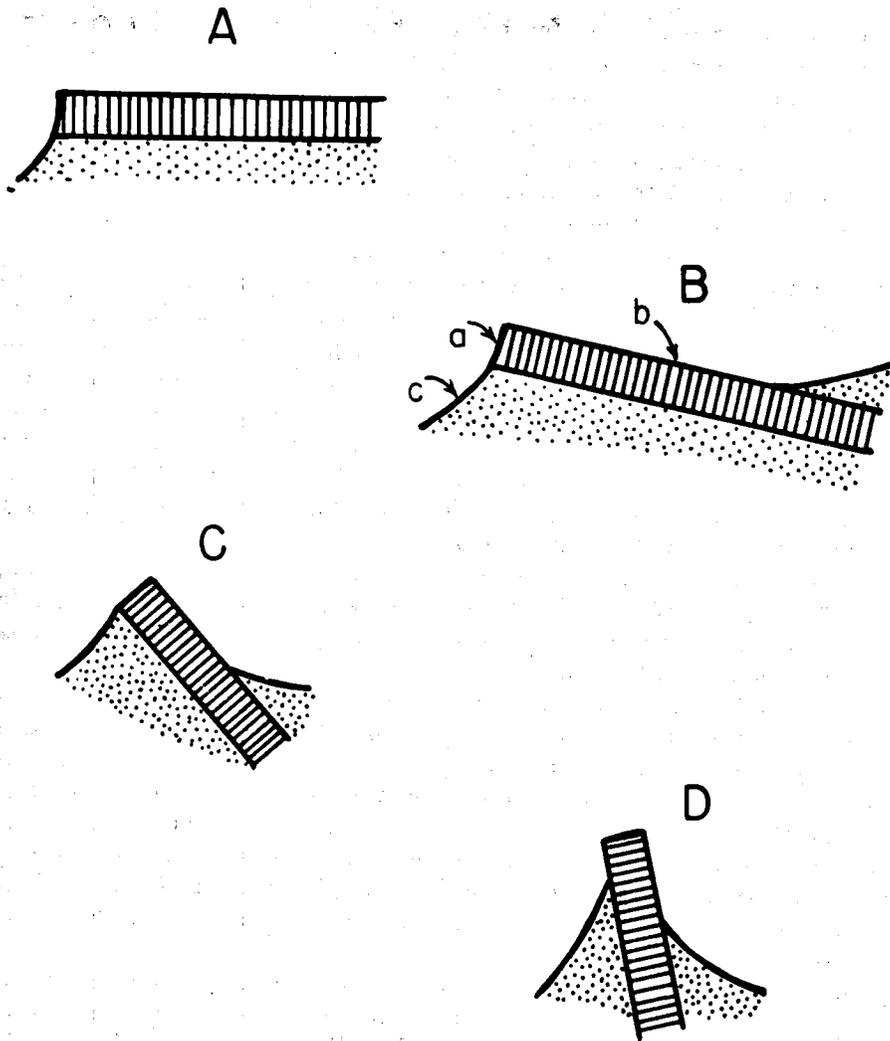


Figura 22

Terminología de algunas rupturas de pendiente debidas a capas resistentes (rupturas litológicas):

- A – Mesa; terraza; plataforma estructural; “glint”.
 - B – Cuesta (a, frente; b, dorso o reverso; c, depresión ortoclinal o subsecuente).
 - C – “Hog-Back” (a partir de $20^\circ \pm$).
 - D – “Hog-Back” (cresta).
- (Según W. M. Davis, P. Macar y M. Derruau).

que marcan la localización de lechos de antiguos valles, constituyen, en ocasiones, diversas series de niveles o pisos, correspondientes a otros tantos periodos de rejuvenecimiento. Dada su gran horizontalidad, son claramente identificables en las fotografías aéreas, y fácilmente correlacionables en áreas vecinas, en muchos casos, y en otros, más excepcionales, en áreas distantes entre sí.

La "mesa" es un resto de erosión de otras superficies tabulares más extensas, como las terrazas estructurales, de las que son arrancadas por los agentes erosivos, principalmente por las corrientes fluviales, al retroceder las cornisas, más o menos rápidamente, según su espesor, su dureza, y la intensidad de la erosión que se ejerce sobre ellas. "Algunas mesas están cubiertas por duras capas de rocas, como conglomerados, areniscas resistentes o mantos de lava, que preservan su superficie de una erosión rápida" (P. G. Worcester, 1949).

"Mesa" es palabra española, tomada por los autores norteamericanos de la región SW de los Estados Unidos, que anteriormente perteneció a México. Topográficamente tiene un significado universal, igual al que tiene en la lengua española. K. Bryan (1923), dice que dicho término "es estructuralmente aplicable a las masas de tierra horizontales de relativamente pequeña extensión, que destacan distintamente sobre el medio circundante, como una mesa destaca sobre el suelo en que descansa". Según dicho autor, también es aplicable dicho nombre, aunque más vagamente, "a una amplia superficie plana de moderada elevación, que se encuentra limitada, al menos en un lado, por una escarpa o pendiente abrupta". El American Geological Institute (1957), refunde ambos conceptos, al decir que "mesa es una montaña de cima plana u otra elevación limitada, al menos en un lado, por una fuerte escarpa; una meseta terminada en uno o más lados, por una fuerte escarpa o acantilado".

Son las "mesas", rasgos típicos del relieve en los Estados del SW de la Unión Norteamericana, como la Gran Mesa, y las Mesas Verde, Roja, y Tyende, en Colorado; la Mesa Negra, en Arizona; la Mesa Cheriisco, en Nuevo México; la Mesa Pachute, en Nevada, etc.

Así como la "mesa" es un resto de erosión de mayores superficies tabulares, con las que pueden estar o no unidas por uno o varios lados, con la condición de que, al menos por uno, formen escarpa, el "butte" es resto de erosión de una mesa. En éstas, "el retroceso de las cornisas, a consecuencia del progreso de la erosión, conduce finalmente y como es lógico, a la desaparición de la formación dura. Más adelante, de todos modos, lo que resta de ella se fracciona, haciendo su aparición "buttes" de formas variadas. La roca dura que los corona, protege de la erosión, en parte, las formaciones subyacentes y, cuando la erosión concluye con la cubierta protectora, el "butte" desaparece" (M. Derruau, 1958).

Estas cornisas en retroceso reciben en algunas partes denominaciones particulares. Así, en Australia occidental, "en vastas áreas aplanadas que forman el fondo de lagos secos, las escarpas se denominan "breakaways", y están todavía retrocediendo. Estos "breakaways" aunque raramente sobrepasan los 30 ó 40 metros de altura, forman, en realidad, escarpas fuertemente marcadas, en el borde de desgaste de una cubierta dura o de "duriscrust" (C. A. Cotton, 1952).

"Formas parecidas a "mesas" se denominan así, y los pequeños residuos "buttes" —añade C. A. Cotton, (1952)— en los que las pendientes de todos sus lados son escarpas. La longitud y anchura del "butte", en la mayor parte de los casos, no es mayor que la altura, mientras que una "mesa" puede tener muchos kilómetros de extensión, y su superficie formar una meseta".

La palabra "butte" procede del francés, en cuya lengua significa "cerros y crestas destacados y aislados que se levantan abruptamente, y se deriva del antiguo vocablo también francés "butte", que significa "montículo parecido a un butt", derivándose, a su vez éste último del término del bajo latín "butta, buttis", con el que se designaba un vaso o vasija, tonel o casco, especialmente dedicado a contener vino o cerveza. Para A. Novitzky (1951), "butte" quiere decir "testigo" o "huérfano".

Este término lo aplicó Knob (J. C. Fremont, 1845)* para designar los "cerros y crestas destacados y aislados que se levantan abruptamente, y alcanzan demasiada altura para ser así llamados, y no tienen suficiente elevación para ser denominados montañas".

Más adelante, J. W. Powell (1896)*, manifiesta que "deben ser llamados "buttes", los cerros que tienen más o menos precipicios y acantilados, o pendientes muy fuertes, que permanecen solitarios como "monumentos de la circundenudación". Insistiendo en ello, con posterioridad, G. K. Gilbert y A. P. Brigham (1902)**, añaden que, "si en las amplias divisorias de los valles se encuentra una "mesa", que permanece como un cerro separado, el cerro es llamado una "mesa-butte".

Más recientemente, A. H. Fay (1920), lo describe, como "conspicuo cerro aislado o pequeña montaña, especialmente aquella con lados acantilados", y A. Holmes (1951), llama genéricamente a los "butte", "cerros testigos".

También en todo el SW de los Estados Unidos abundan estos rasgos topográficos, constitutivos de rupturas de pendiente, como los "buttes"

* Citado por el American Geological Institute, en su "Glossary of Geology and Related Sciences", Washington, 1957.

** Citados por el American Geological Institute, en su "Glossary of Geology and Related Sciences", Washington, 1957.

Baker, Chevelon, Red, Roof, en Arizona; East Pawnee, y el famoso Ratón, en Colorado, etc.

Las formas del relieve integradas por capas duras, que se separan de la horizontal y tienen una superficie más o menos inclinada, reciben, según sea el grado de ésta, y su particular disposición, las denominaciones de "cuesta", "hogback", "cresta" y "flatiron", todas las cuales dan origen a rupturas de pendiente, fácilmente identificables en las fotografías aéreas y de un gran significado en la interpretación fisiográfica, geomorfológica y geológica.

Si estas estructuras monoclinales tiene una débil pendiente superficial, claramente perceptible, las formaciones resistentes de suficiente grueso son puestas al descubierto por la erosión, la cual corta las capas, interrumpiéndolas, tanto en la parte más elevada, como en las áreas laterales superiores. Como resultado de ello se producen unas formas asimétricas, denominadas "cuestas", palabra española cuyo significado original es distinto al otorgado a la misma por los autores norteamericanos. Procede este término del latín "costa", costado o costilla, por referencia a las laderas de una montaña, y fué tomado de la nomenclatura topográfica de México, y regiones del SW de los Estados Unidos, que anteriormente pertenecieron al primero de los citados países, según William Morris Davis (1899).

M. R. Campbell (1923) dice que, "cuesta" en español, "significa el flanco o vertiente de una colina o cerro" y, así es, en efecto, pues en términos amplios, en dicho idioma, "cuesta" es, simplemente, "terreno en pendiente", o bien, "porción de terreno que forma declive, desde un páramo, mesa o alcarria, al llano inmediato" y, más estrictamente, la "abrupta ladera que baja de lo alto de un páramo a la llanura, especialmente cuando la superficie alta del páramo es llana y horizontal" (Novo y Fernández Chícharo, 1957).

Con relación al exacto significado de la palabra "cuesta", De Martonne (1951), manifiesta que, "en realidad una encuesta hecha en México, prueba rápidamente que el pueblo llama "cuesta" a toda subida, de sentido exactamente igual a la de "côte" entre nosotros —los franceses— cuando se piensa en los caminos, pero nunca se ha soñado en considerar como un conjunto, el "frente" y el "reverso" de la misma. Es legítimo que un geógrafo modifique ligeramente el sentido de un vocablo popular, para disponer de un nombre común de forma de relieve. La violencia —termina De Martonne— no es menor con la palabra española que con la francesa".

Fué también W. M. Davis, quien distinguió en las "cuestas" esos dos principales elementos que las constituyen, el "frente" y el "reverso" o "dorso", correspondiendo el primero a la pendiente abrupta, y el segun-

do a la pendiente suave. Con relación a este particular, conviene aclarar que W. M. Davis, aplicó el nombre de “reverso”, tanto a la “pendiente de buzamiento” como a la forma topográfica. La depresión que sigue al pie de la escarpa, se llama “depresión ortoclinal” o “consecuente” (M. Derruau, 1958).

Ya anteriormente, A. C. Veatch (1906), había manifestado al respecto que, aunque es discutible el sentido de la palabra “cuesta”, mientras no se encuentre otra mejor —y hasta ahora no se ha encontrado— sirve para usos prácticos”. Efectivamente, no obstante el tiempo transcurrido desde que W. M. Davis la acuñó, ha demostrado su acierto, pese a su exceso de convencionalismo, sin perder nunca su vigencia, por lo que huelga la apuntada búsqueda de otro vocablo para sustituirla.

Aceptada así la inclusión en el término “cuesta” de los dos elementos que la componen —“frente” y “reverso”— según la concepción de W. M. Davis, no obstante constituir cada uno de ellos y por sí mismos, una cuesta independiente, según la acepción española, que es la más legítima, M. R. Campbell (1923) define la “cuesta” como “una cresta asimétrica, con una pendiente larga y suave, y generalmente concordante con el buzamiento del estrato o estratos resistentes que la forman, y la otra pendiente más fuerte e incluso escarpada en forma de acantilado en los bordes cortados de las capas que forman la pendiente suave” (Fig. 23).

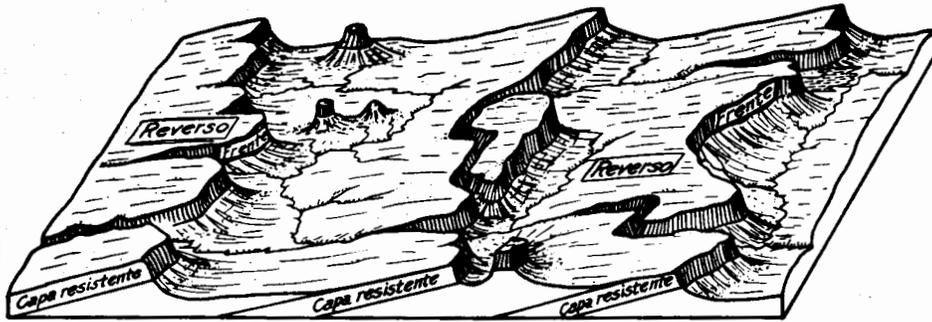


Figura 23

Esquema mostrando la disposición teórica de las “cuestas”. (Según M. Derruau).

Cox, Dake y Muilenburg (1921), definen a su vez la “cuesta” como “cresta asimétrica, cuya pendiente más suave es paralela y está controlada por el buzamiento del estrato rocoso duro, y se conoce como “pendiente de buzamiento”; mientras la otra, y más abrupta pendiente, causada por socavamiento, se conoce como “pendiente de la escarpa”.

En opinión del American Geological Institute (1957), "parece ser que las "cuestas" no tienen relación con la estructura y sí solo con la forma topográfica, pues mientras la pendiente más larga —o "wold"— pendiente de buzamiento, es una cuesta, no es siempre ésta una pendiente de buzamiento".

Por cierto que la palabra "wold", que en su acepción más general significa en inglés "campaña ondulada" y, más estrictamente, "área elevada y abierta de un país", —que se aplica especialmente a algunos distritos ingleses del Yorkshire y del Lincolnshire, y de la que es sinónimo "wald"— viene a ser de significado idéntico a "cuesta", tal como la describió en 1899, W. M. Davis, si bien ha sido este último vocablo el que ha prevalecido. Así lo reconoce A. C. Veatch (1906), al manifestar que "wold", es el término fisiográfico que identifica una serie de cerros producidos por la erosión diferencial en las rocas sedimentarias inclinadas. La más suave de las pendientes del "wold" es una "bajada", si la pendiente no constituye una escarpa o acantilado, y una "caja", si tal pendiente es un acantilado".

Por lo que respecta a la voz española "caja", resulta fácil relacionarla con "cajón", o "cañón con muros verticales, como los lados de una caja" (R. T. Hill, 1896), significado que coincide con el correspondiente al "frente", o lado escarpado de una "cuesta". Pero los términos españoles "cuesta" y "bajada", se prestan a confusiones, pues si es cierto que en el idioma original tienen un significado distinto, aunque ambos son términos topográficos, ya que, "cuesta" quiere decir "terreno en pendiente", mientras que "bajada" denota "camino o senda por donde se baja desde alguna parte" —según el Diccionario de la Lengua Española de la Academia— no lo es menos que, en sentido fisiográfico y más estricto, Novo y Fernández Chicharro (1957), afirman que "bajada" indica "declive o descenso del terreno", y que es sinónimo, entre otras palabras, de "cuesta" y de "declive".

Con objeto de resolver esta ambigüedad de conceptos y eliminar posibles confusiones, R. T. Hill (1896), propuso fijar el contenido del término "bajada", que "literalmente significa descenso gradual, tal y como dicho autor había encontrado en los mapas de Nuevo México, aplicado a las pendientes que descienden de una escarpa más vertical, limitándolo a las extensas pendientes formadas, unas por agradación y otras por degradación del terreno, "con objeto de distinguir entre "bajada" y "cuesta", y reservar el último vocablo para la llanura estructural inclinada".

C. F. Tolman (1909), abunda en la misma idea, al manifestar que "extendiéndose hacia abajo, desde la superficie rocosa que rodea al "bolson", se encuentran las pendientes flanqueantes de derrubios. Estas pendientes son el rasgo dominante del paisaje árido, de forma que cada cor-

dón montañoso o cerro aislado, bajo condiciones climáticas severas, aparece colocado sobre un simétrico pedestal. La dificultad de evitar confusiones entre las "pendientes de detritos" y las de las rocas de las montañas, motiva la necesidad de un nuevo nombre aplicable a este rasgo —pendiente de detrito— para lo cual se ha seleccionado la palabra española "bajada", cuyo empleo local casi corresponde exactamente con el significado técnico del término sugerido".

La erosión pone igualmente al descubierto las diversas estructuras geológicas plegadas, y como resultado de quedar en posición sobresaliente las capas duras que las cubren, aparece un tercer grupo constitutivo de "rupturas de pendiente", además de los formados por las estructuras horizontales o tabulares y las inclinadas: el derivado de las estructuras plegadas.

Cuando los estratos resistentes que dan origen a estas últimas rupturas de pendiente, se encuentran en posición vertical o fuertemente inclinada, la interrupción por la erosión de dicha capa dura, da lugar al rasgo del relieve denominado "hogback", que literalmente quiere decir "lomo de cerdo", por su similitud con esta forma, término tomado de la región de Guilford, al SW de Londres, Inglaterra, donde ciertas capas de creta, que se levantan abruptamente, se denominan así.

Para P. G. Worcester (1949), no existe una diferencia fundamental entre "cuestas" y "hogbacks". Las "cuestas" se desarrollan en rocas de bajo buzamiento y tienen perfiles asimétricos, mientras los "hogbacks" se forman en rocas de elevado buzamiento, y tienen perfil simétrico o casi simétrico. Por esto, dice dicho autor "en muchos sentidos resulta difícil distinguir entre "cuesta" y "hogback", por lo que propone se abandone este último término. En realidad, la distinción solo puede hacerse en casos de "cuestas" con buzamientos muy bajos, y de "hogbacks" con buzamientos muy altos. Si las capas de rocas resistentes que yacen bajo las crestas no buzan con ángulos superiores a 60 grados, las crestas son casi siempre de perfiles asimétricos, "aunque las pendientes de buzamiento —concluye— son particularmente comunes a "cuestas" y a "hogbacks", se presentan bajo condiciones topográficas diferentes, indicando siempre un definido control de las pendientes del terreno, a través de la composición y estructura de las rocas subyacentes". Igualmente, para C. A. Cotton (1957), "la distinción entre tales "hogbacks asimétricos", y las "crestas homoclinales", no está bien definida. "En tales casos, dichas formas, efectivamente se confunden".

Si bien todo lo transcrito anteriormente es cierto, existe, sin embargo, diferencia, entre "cuestas" y "hogbacks", al menos por lo que se refiere al hecho de que, tanto uno como otro rasgo, se manifiestan en el relieve con caracteres topográficos diferentes, aunque no sean tales diferencias

fundamentales, como el ser más fuerte la pendiente de los "hogbacks", más corta su superficie, y más simétrica su forma, que las similares características de las "cuestas". Es cierto, igualmente, que la dificultad para distinguir ambos rasgos, uno de otro, se presenta cuando los caracteres de "cuesta" y de "hogback", se aproximan, hasta confundirse unos con otros.

Por esto, M. Derruau (1958), ha tratado de distinguir "cuestas" y "hogbacks", indicando en primer término, que las formas de relieve citadas, pueden admitirse como diferentes en casos límites para ambas, como ocurre frecuentemente en las zonas montañosas, pero no donde la tectónica de las llanuras se manifiesta sin tanta violencia, en cuyo caso, los "hogbacks" propiamente dichos son muy raros.

R. M. Campbell (1923), y P. Macar (1946), insisten en considerar la calidad simétrica de los contornos erosionados de las crestas, como uno de los elementos más valiosos para distinguir "hogbacks" de "cuestas". Para el primero, "cuesta" es una cresta asimétrica con una pendiente larga y suave" y, para el segundo, "hogback" es una cuesta débilmente asimétrica. Cuando el "hogback" es asimétrico —como hace notar C. A. Cotton en su cita anterior— se confunde con "cuesta". Por ello, y según indica el mismo autor, "la asimetría se hace en las "cuestas" más pronunciada a medida que el buzamiento de las capas disminuye", y cuando este buzamiento se hace muy suave, como consecuencia de la erosión de la capa resistente, no existe duda respecto a la calidad de "cuesta".

En cuanto a la magnitud del gradiente, también existen diferencias de criterio, pues así como para P. G. Worcester (1949), son los 60° —como ya se ha dicho— el punto crítico para distinguir ambas formas del relieve constitutivas de rupturas de pendiente, para P. Macar (1946), tal punto se encuentra en los 20° . La magnitud de la pendiente, constituye el elemento distintivo, y comparativo, para distinguir e identificar los rasgos en cuestión, según C. R. Longwell, A. Knopf y R. F. Flint (1950): "las pendientes abruptas de los estratos resistentes corresponderían a los "hogbacks"; y "si la pendiente fuese suave en vez de pronunciada, correspondería a las "cuestas".

La extensión superficial del "hogback", otro de sus caracteres distintivos, está determinada por la pendiente, y como ésta es abrupta, también es pequeña su superficie, la que raramente sobrepasa unos centenares de metros, y disminuye a medida que aumenta el declive.

Típicos "hogbacks", se muestran en el flanco oriental de las Montañas Rocosas (*Fig. 24*).

De estos "hogbacks", correspondientes a capas que recubrieron antes estructuras más o menos plegadas, quedan restos en los flancos de las mismas, constituyendo filas de facetas de diversas formas, y que "se ase-



Figura 24

Bloque diagramático del flanco oriental de las Montañas Rocosas, cerca de Denver, mostrando una serie de "hogbacks". (Según una fotografía de T. S. Lovering y F. M. Van Tuyl, por P. Macar).

mejan a escamas" (De Martonne, 1951). A estas "escamas", J. B. M. Flamand (1911), denominó "chevrons", palabra francesa que se aplica a los pliegues muy agudos, generalmente pequeños, y que los autores norteamericanos han adoptado para dicha clase de pliegues, que llaman así "chevron folds".

P. Macar (1946), identifica estos "chevrons", con los denominados por los norteamericanos "flatirons" —término que significa "plancha", de planchar— con el que designan "las pequeñas superficies estructurales en las que se resuelve un "hogback", cuando es atacado por la erosión de los arroyos transversales, y que se estrechan hacia arriba", cosa que sucede con más frecuencia "cuando los hogbacks se encuentran demasiado próximos entre sí, y dispuestos con regularidad".

Refiriéndose a la génesis de los "flatirons", A. K. Lobeck (1939), dice que, cuando el miembro inferior de unos estratos sedimentarios en un domo montañoso es resistente, entonces se comporta como si fuera parte integrante de la roca cristalina subyacente, y el primer "hogback" no está separado del núcleo central del domo por un valle. El resultado es una serie de los denominados "flatirons", que parecen estar aplastados sobre los extremos de las estribaciones". (Fig. 25).



Figura 25

"Hogbacks" y "flatirons". (Según A. K. Lobeck, modificado).

Con el nombre genérico de "crestas", se designan, finalmente, relieves monoclinales asimétricos, tipo particular de "cuesta" o de "hogback", de pendientes casi verticales. Estas "crestas" presentan, con frecuencia, la denominada por De Martonne (1951), "disimetría inversa", que consiste en el hecho de que la vertiente más inclinada no es ya aquella que se opone a la pendiente de las capas —como en el caso de las "cuestas" y de los "hogbacks" típicos— sobre la que se acumulan constantemente los detritos, sino que la vertiente más aguda se establece al otro lado, sobre la misma pendiente estructural, casi vertical. En estas "crestas" resulta muy difícil, en ocasiones, establecer el buzamiento de las capas, por medio de su análisis en las fotografías aéreas, por la dificultad de observar el buzamiento en la vertiente más inclinada, y por presentar ambas vertientes de la "cresta", en muchos casos, expresiones topográficas idénticas, que se reflejan en sus imágenes fotográficas con ausencia de rasgos característicos que las distinguan. Para llegar a establecer el buzamiento, en tales casos, se hace preciso recurrir a los análisis de las relaciones con rasgos asociados, como "cuestas" y "hogbacks" y, especialmente, con los "flatirons" más próximos.

De todas las rupturas de pendiente, las "crestas" constituyen los relieves con declive más fuerte, excepción hecha de las escarpas de las estructuras horizontales o tabulares.

M. Derruau opina que debe reservarse el nombre de "crestas" para los relieves plegados, por ser plegamientos característicos los que determinan su inclinación.

De lo anteriormente manifestado, se deduce la Décima Tercera Regla Fundamental, que dice:

"LAS DISCORDANCIAS TOPOGRAFICAS, ENTRE LAS QUE SE ENCUENTRAN LOS CAMBIOS O RUPTURAS DE PENDIENTE, ORIGINADAS POR LA DIVERSA NATURALEZA DE LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA SUPERFICIE TERRESTRE, ASI COMO POR LOS FENOMENOS DE DISTINTO CARACTER QUE EN ELLA TIENEN LUGAR, ORIGINAN MARCADOS CONTRASTES, CUYO EXAMEN ESTEREOSCOPICO PERMITE DESCUBRIR EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS RASGOS GEOLOGICOS DE LA MAXIMA IMPORTANCIA, TANTO ESTRATIGRAFICOS, COMO ESTRUCTURALES Y TECTONICOS".

14.— *ALINEACIONES O RASGOS ALINEADOS.*

Aunque anteriormente, al tratarse de la "forma" de los objetos o rasgos registrados por sus imágenes en las fotografías aéreas o en las espaciales, se estableció el principio de que las formas regulares corresponden a rasgos u objetos que se deben a la mano del hombre, mientras que las formas irregulares y hasta desordenadas, pertenecen a los rasgos naturales, se dan también entre estos últimos ciertos rasgos más o menos regulares, formando alineaciones ordenadas de manera aparentemente rectilínea, que tienen un importantísimo significado, y que constituyen una de las más valiosas claves analíticas en fotogeología. Refiriéndose a estas alineaciones, B. M. Bench (1948) aclara que "no debe suponerse que se trata de líneas rectas o derechas", puesto que, según posterior aclaración de P. H. Blanchet (1957), "los rasgos curvilíneos o amorfos constituyen el hábito normal de la Naturaleza".

Se trata de rasgos alineados con apariencia de líneas más o menos rectas, pero no en el sentido geométrico del vocablo. En realidad, se trata de trazos discontinuos, aparentemente rectos los unos y ligeramente curvos los otros, unas veces sin solución de continuidad entre ellos y, otras veces, con múltiples soluciones, pero no en su conjunto, que al ser observados en las fotografías aéreas constituyen alineaciones o asociaciones de rasgos alineados. Precisamente, entre este contraste de la apariencia rectilínea de tales alineaciones, y el medio curvilíneo o amorfo en que se encuentran incluídas, reside la característica que las hace tan evidentes en las fotografías aéreas.

Antes de ser observadas estas alineaciones en los documentos fotográficos aéreos, ya habían sido reconocidas en el campo mismo, principalmente por geólogos que, como W. H. Hobbs (1911), comprendieron la importancia extraordinaria de las mismas, al manifestar que "eran significativas líneas en la superficie terrestre".

Por lo que respecta a su valor como factor analítico clave en las fotografías aéreas, fué J. L. Rich (1928), quien primero llamó la atención sobre estos rasgos alineados que, según definición de L. H. Lattman (1958), "son rasgos naturales alineados, consistentes en alineaciones topográficas (en las que se incluyen segmentos rectos del drenaje), de vegetación, o de tonos de suelos, principalmente visibles en las fotografías aéreas o en los mosaicos confeccionados con ellas, con expresión continua de una milla al menos, pero que pueden tener expresión continua o discontinua de muchas millas".

La anterior definición es más amplia de la que la mayoría de los geólogos hacen de "alineación", ya que éstos la limitan a sólo aquellas que tienen expresión topográfica, mientras que los fotogeólogos la aplican

también a las que se expresan por medio de la vegetación o de tonos de suelos. A este respecto, L. H. Lattman (1958), hace notar que "las alineaciones que están expresadas por la vegetación o el tono de los suelos, son solamente visibles en las fotografías aéreas y, por lo tanto, el fotogeólogo ha extendido la significación de alineación para incluir estos rasgos". En cuanto a la longitud de una milla que, como límite mínimo de las alineaciones indica dicho autor, ni es aceptada por todos los autores ni podría serlo, toda vez que, muchas veces y, por un lado, son los rasgos lineales pequeños, de longitud menor a una milla, los de mayor significado en la interpretación de las fotografías aéreas, y los más fácilmente identificables, mientras que, por otro lado, son de muchos cientos de kilómetros de longitud y, hasta de más de un millar de kilómetros, las alineaciones que pueden observarse en las imágenes espaciales, y que valorizan tan extraordinariamente a esta clase de documentos gráficos.

Las clases o categorías de alineaciones, según E. P. Kaiser (1950), son las siguientes:

- (1) Rasgos topográficos lineales, como crestas o trincheras.
- (2) Configuraciones lineales de vegetación.
- (3) Configuraciones lineales de color o textura de suelo.

Para C. W. Brown (1961), tales clases de alineaciones son:

- (1) Rumbos de alineaciones vegetales.
- (2) Rasgos topográficos rectilíneos, como acantilados cuya orientación puede haber sido controlada en sus bordes, por diaclasas.
- (3) Cambios lineales de tonos de suelo.
- (4) Zonas cortadas y talladas por posibles fracturas, causantes de un áspero relieve por el escurrimiento superficial en cárcavas y zanjas.
- (5) Trazas de diaclasas reales en el borde de las rocas de un acantilado, observadas con gran aumento estereoscópico.

En el caso concreto del reconocimiento con fotografías aéreas, de un área determinada, como el efectuado por G. Henderson (1960), en la zona situada alrededor de la mina de Mpanda, en Tanganyca, Africa, los tipos de alineaciones observadas fueron:

(1) *Alineaciones de vegetación.*— Una gran parte del área está cubierta por bosques y, en ellos, la gran mayoría de las alineaciones observadas se exhiben con rumbos lineales en una masa vegetal, sin ninguna otra configuración. Tales alineaciones son el resultado de líneas de árboles, o de una cortadura lineal en la masa arbórea. Es muy posible que tales alineaciones sean el reflejo de fracturas en la roca aflorante bajo la vegetación, que afecten al drenaje, textura y composición de la cubierta de suelo. Raramente muestran relieve perceptible estas alineaciones.

(2) *Alineaciones por cambios en la vegetación.*— Las alineaciones que

tienen por origen cambios en la vegetación, son muy comunes. Algunas se encuentran claramente manifestadas por un brusco cambio entre el bosque y la pradera, por ejemplo, constituyendo una línea la unión de ambas zonas.

Las alineaciones de este tipo pueden también ser el resultado de fracturas en la roca, que afecten al drenaje, a la textura y a la composición de la cubierta de suelo.

(3) *Alineaciones debidas a hendiduras de fracturas.*— En áreas de relieve topográfico, la erosión al progresar en estos entallamientos, formados por diaclasas y fallas, originan estrechos y rectilíneos valles. También son muy comunes las alineaciones de este tipo a lo largo de escarpas formadas por rocas sedimentarias, así como en afloramientos de rocas cristalinas más antiguas.

(4) *Alineaciones expresadas por cursos de agua.*— Muchos de los sistemas fluviales del área, siguen cursos lineales en partes de su trazado. Cuando el curso de una corriente fluvial se muestra estrecha y recta en las fotografías aéreas, dicha corriente se exhibe como una línea, y sigue un curso a lo largo de una fractura o fracturas, probablemente.

(5) *Alineaciones debidas a bruscos cambios topográficos lineales.*— Unos cuantos alineamientos se han manifestado mediante cambios bruscos de nivel topográfico a cada lado de una línea. Ejemplo de tales alineaciones son los bordes de las escarpas de falla..

(6) *Alineaciones positivas debidas a fracturas rellenas por intemperización.*— Unas pocas fracturas rellenas aparecen como crestas distintas. Se identifican por una línea negra de árboles que aparecen ligeramente más altos que la mayor parte de los restantes árboles, a ambos lados de la mencionada línea. Esta línea evidencia una pequeña cresta.

(7) *Posibilidad de alineaciones debidas a causas ajenas a las fracturas.*— En áreas sedimentarias es posible que la mayor parte de las alineaciones observadas estén estructuralmente controladas y que sean manifestaciones de fracturas. Algunas de dichas alineaciones pueden no representar fracturas simples, sino complejas, y pueden ser de origen compuesto.

En las rocas cristalinas es también muy probable que las alineaciones registradas representen fracturas o fracturas complejas, pero pueden considerarse, además, otros factores.

En resumen, en el área estudiada de Tanganyka, con una extensión superficial de 2,428 kilómetros cuadrados, se registraron 3,589 alineaciones o rasgos alineados, de los diversos tipos anteriormente reseñados con una longitud total de 5,204 kilómetros.

La posibilidad de que algunas alineaciones sean originadas por procesos ajenos a la geología, también merece consideración, especialmente en el tipo denominado, "alineaciones de la vegetación". Algunos de los

factores no geológicos que pueden dar lugar a alineaciones, son los siguientes:

(a).— El efecto del viento dominante sobre el hábito de crecimiento de un área boscosa. Este efecto sería máximo en áreas de fuertes vientos dominantes, y en el caso de afectar a la configuración, produciría una granulación paralela de amplia diseminación. Si el área no es de fuertes vientos dominantes, las alineaciones se exhibirán como líneas discretas, aunque algunas de ellas puedan representar estrechas zonas de alineaciones complejas en el terreno.

(b).— Alineaciones de sombras. En áreas de cubierta arbórea, donde el sol no cae verticalmente sobre los árboles, las filas de éstos pueden originar rasgos alineados. Este efecto es más pronunciado cuando el sol está bajo, con relación al horizonte, así como cuando los árboles están dispersos y la sombra depende parcialmente de su forma.

Por su parte C. W. Brown (1961), en un extenso estudio a base de fotografías aéreas efectuado en las partes septentrional y central de Texas, manifiesta se localizaron 13,800 alineaciones, y 140 fallas. Un 66 por 100 de las mencionadas alineaciones observadas en las fotografías aéreas, fueron confirmadas como fracturas de diversas clases, en el campo; por el contrario, un 36 por 100 de las fracturas localizadas en el terreno no obtuvieron su correlativa evidencia entre las alineaciones registradas en las fotografías aéreas.

P. H. Blanchet (1957), ha calculado que en áreas sedimentarias, más o menos planas, se pueden registrar de 5 a 15 millas lineales de fracturas por milla cuadrada, en fotografías de alta resolución. En otras áreas se puede duplicar y hasta triplicar dicha cifra, excluyendo de dicho cómputo las fracturas menores de $1/4$ de milla de longitud aparente. A su vez, L. H. Lattman y R. P. Nickelsen (1958), utilizando estereoscopios con lentes de dos y medio aumentos y fotografías aéreas de escala 1:20,000, que es la más conveniente para la identificación de fracturas, han convenido en que un técnico experto puede localizar 114 fracturas en dos horas de labor, en un área de 6 millas cuadradas, oscilando el tamaño de dichos rasgos entre $1/5$ y $3/4$ de milla de longitud.

Este factor analítico es realmente de extraordinario valor, en primer lugar por constituir una de las principales ventajas que las fotografías aéreas brindan a todas las ciencias y técnicas que tienen por objeto el estudio de la superficie terrestre en sus múltiples aspectos, al permitir la localización de rasgos de capital significación, para las finalidades que las mismas particularmente persigan, y sin cuya ayuda sería imposible percibir, por no ser registrables en el propio suelo; y, en segundo lugar, por constituir la identificación de las fallas, a través de las alineaciones que sus imágenes producen en las fotografías, un elemento técnico valiosísi-

mo en la exploración de los recursos naturales no renovables, especialmente por lo que se refiere a los de carácter minero, por las zonas de mineralización a que las fallas pueden dar lugar, y al petróleo, por los yacimientos de trampa de falla, y por el valor negativo de éstas, en ocasiones, en la exploración de este energético, etc., lo que sobrevalora esta guía analítica, desde el punto de vista de su importancia económica.

El carácter de las alineaciones, como ya se ha visto, hace que este factor clave sea muy subjetivo, pues si bien es verdad que la localización de ciertos de estos rasgos, cuando son evidentes, sólo exigen una razonable objetividad y la posesión de una buena agudeza visual, en caso de no existir tales evidencias, tiene el intérprete que acudir a su técnica, la interpretativa y no a la identificativa, buscando similitudes y diferencias entre las alineaciones cuya identificación se ha verificado y considerado como correcta, y aquéllas otras que son objeto del análisis, y cuya verdadera naturaleza difiere con el intérprete, aunque sea detectable para todos.

Son, pues, las fracturas, los principales rasgos que pueden identificarse por las alineaciones en las fotografías aéreas, y como "la corteza terrestre se encuentra abundante y sistemáticamente fracturada" (P. H. Blanchet, 1957), rara es la fotografía que no contenga alineaciones o rasgos alineados, que F. H. Lahee (1952), consideró como efecto "de la estructura geológica, la clase particular de roca o la topografía", estimando también que son "de real importancia para desenmarañar la estructura e historia geológicas".

Para reconocer las fallas en las fotografías aéreas, H. T. U. Smith (1943), a base de alineaciones, señalaba los siguientes criterios:

- (1) Rupturas topográficas rectilíneas, en forma de cortes de estructuras plegadas.
- (2) Cursos fluviales rectilíneos y configuraciones colineales de cursos de agua.
- (3) Colinas o cerros alineados, formando crestas o cordones, sin relación alguna con capas individuales resistentes, pudiendo significar los mismos, zonas cementadas a lo largo de fallas.
- (4) Escarpas, riscos o zonas de vegetación de formas rectilíneas, especialmente si estos rasgos cruzan líneas de drenaje o de pendiente topográfica; cuando elementos rectilíneos de formas topográficas se cortan, formando configuraciones angulares, tal fenómeno debe atribuirse a la presencia de sistemas o series de fallas que se intersecan.
- (5) Límites rectilíneos que separan áreas de diferente coloración de suelo o de zonas de vegetación, contrastadas entre sí.

Por lo que respecta a las corrientes fluviales, su curso se debe a una falla cuando dos o más corrientes entroncan en ángulo recto, en terreno quebrado.

L. H. Lattman (1958), y con él otros autores, prefieren el término "traza de fractura" al de "fractura", a causa de que, excepción hecha de las áreas donde las rocas están expuestas desnudas, lo que permite el directo cartografiado de las fracturas en las fotografías aéreas, en las demás áreas, tales rasgos pueden significar sólo la indirecta expresión superficial, pero no directa constancia o evidencia de una fractura.

Las alineaciones pueden ser del mismo tipo o combinadas, es decir, formadas por un solo segmento rectilíneo de drenaje, o bien por un semejante tramo rectilíneo fluvial, seguido de una alineación vegetal, y ésta de otro segmento de drenaje, etc. Pero, en todos estos rasgos, el elemento común es su carácter rectilíneo. Igualmente, las alineaciones pueden ser continuas o discontinuas, sencillas o simples y múltiples, formando sistemas o series, o distribuidas irregularmente, aparentemente sin sistema alguno que las rijan.

No siempre las alineaciones de naturaleza geológica se deben a fracturas o a trazas de fracturas, pues en muchos casos son expresiones de estratificación, intrusiones en forma de diques, estructuras truncadas por frente montañoso, facetas triangulares, etc.

En las áreas sedimentarias, P. H. Blanchet (1957), distingue dos clases principales de "trazas de fracturas": las "macro-fracturas" y las "micro-fracturas", que se diferencian principalmente por su longitud, pasándose insensiblemente de unas a otras. Arbitrariamente se ha establecido la longitud de media milla —800 metros— como límite mínimo para las microfracturas, y cinco unidades de media milla, o sea, 4 kilómetros, como límite máximo para las mismas. Por su parte, las macro-fracturas, tienen un límite mínimo de 2 millas —3.2 kilómetros— y uno máximo de 50 millas— 80 kilómetros. Para los efectos de identificación y subsiguiente interpretación de los correspondientes alineamientos, se considera que las macro-fracturas en terrenos sedimentarios han sido originadas al nivel del basamento, mientras que las micro-fracturas lo han sido dentro de los mismos sedimentos y, probablemente, la mayoría de ellas en la mitad superior de la columna sedimentaria, independientemente del espesor que la misma tenga. Las micro-fracturas parece ser que se encuentran fuertemente afectadas por la estructura interna o profunda.

Las micro-fracturas son más patentes en las fotografías aéreas, por lo que suelen tener un significado mayor que las macro-fracturas, las cuales escapan frecuentemente al análisis si son de gran extensión y no se emplea para su estudio una escala fotográfica adecuada, sobre todo cuando no se encuentran acentuadas por el relieve.

A veces, es posible observar las trazas de fracturas en las áreas cubiertas por materiales sin consolidar, como suelos o aluviones o arrastres glaciales. Tales trazas reflejan en la superficie las fracturas de las rocas subyacentes. A este efecto, P. H. Blanchet (1957), manifiesta que esto se debe "a la propagación de las fracturas hacia la superficie, ocasionada por la atracción lunar y solar, fuerza flexora aumentada por el movimiento ascendente de las rocas de los grandes bloques del basamento, incluyendo en particular, tales bloques.* Esta posibilidad de registrar en determinadas circunstancias las fracturas en terrenos sin consolidar, constituye otro de los beneficios que el empleo de las fotografías aéreas aporta al análisis de la superficie terrestre.

Estas identificaciones, imposibles de lograr en el propio terreno, son particularmente fáciles cuando se trata de prolongaciones de fracturas sobre sedimentos sin consolidar, identificadas previamente en los afloramientos de rocas consolidadas, hasta el punto de que, a través de tales materiales sueltos, es posible correlacionar perfectamente unas fracturas con otras a través de distancias considerables.

El criterio más utilizado para establecer si una alineación constituye un rasgo identificable, especialmente cuando se trata de localizar trazas de fracturas, consiste según L. Desjardins (1950), en "considerar tales alineaciones como trazas de fracturas o de fallas, siempre y cuando no tengan otra explicación más obvia, principalmente si las alineaciones son varias y constituyen anomalías en el medio en que se encuentren, ya sean de drenaje, de vegetación o de otras clases. La prueba de que tales rasgos son genuinos incluye aquellas alineaciones que sobrepasan lo que podría atribuirse a simple coincidencia, o a repetición de estratos aflorantes, principalmente en las series en que pueden ser éstos identificados en ambos lados; evidencia indirecta adecuada la constituyen, además, el paralelismo con cercanas fallas mejor expresadas, aunque la expresión individual de la traza considerada sea pobre".

El estudio detenido, matemático, de las trazas de fracturas, reflejadas

* Aunque en parte se debe a fuerzas internas la fracturación de la corteza terrestre, son las fuerzas externas, que han estado activas a través de los tiempos geológicos y que continúan activas en nuestros días, las principales responsables. Entre las varias fuerzas externas que actúan sobre la corteza, una de las más importantes es la constituida por las "mareas terrestres", debidas al efecto gravitacional de la luna y del sol, y que actúan sobre la misma corteza sólida de nuestro planeta. Una segunda fuerza importante se relaciona con los cambios en la aceleración radial de la tierra a lo largo de su radio vector; y, una tercera, se debe al decrecimiento gradual de la velocidad del movimiento de rotación de la tierra, considerado como efecto de la fricción de la marea. Este concepto de que la tierra está abundante y sistemáticamente fracturada, es la premisa sobre la cual está edificada la técnica analítica de exploración, conocida como "análisis de fracturas" (P. H. Blanchet, 1957).

en las fotografías aéreas, ha dado origen a una sub-técnica o sub-método de exploración, denominado "sistema de análisis de fracturas".

El tratamiento analítico de las alineaciones, según G. Henderson (1960), incluye los siguientes factores cuantitativos variables:

- (1) La longitud de cada alineación
- (2) La dirección o posición relativa de cada alineación.
- (3) La densidad de alineaciones por unidad de área.
 - (a) Variaciones en la total longitud de las alineaciones por unidad de área, independientemente de las direcciones individuales.
 - (b) Variaciones en el número total de alineaciones por unidad de área, independientemente de las direcciones individuales y longitud de las alineaciones.
 - (c) Reconocer, si es posible, en "grupos" separados de alineaciones, una variable basada en a) o b), para cada juego.
- (4) Si resulta posible, reconocer en tales "grupos", una variable adicional consistente en el espaciamiento entre alineaciones paralelas individuales.

En vista de los resultados que se obtengan en el anterior análisis, se procederá a escoger el tipo de histograma más conveniente, o bien varios tipos de ellos para mutua comparación, que frecuentemente revela rasgos de interés.

Entre estos datos figura en destacado lugar la determinación de las "alineaciones de primer orden", y la de posibles "rumbos o direcciones preferentes" en las alineaciones, así como las semejanzas o diferencias entre las alineaciones en rocas del basamento y en rocas sedimentarias. La experiencia ha demostrado que existen en muchos casos gran semejanza entre ambas, independientemente de la edad geológica y la constitución de las rocas. También son significativos los datos derivados de la densidad de alineaciones por unidad de área, a veces motivados por las estructuras y, a veces, por el espesor de los suelos u otras causas.

Otro ejemplo de aplicación del "sistema de análisis de fracturas", lo ofrece P. H. Blanchet (1957), con el efectuado en la masa arrecifal del "biohermo" del Devónico superior del lago Wizard, en Alberta, Canadá, que divide en las diez etapas siguientes:

1a.—Selección de las mejores fotografías aéreas para la ejecución del proyecto, previa determinación de la escala más conveniente, y con un alto poder de resolución, que permita el registro de los más pequeños detalles y, de este modo, la identificación de las trazas de fracturas.

2a.—Confección de mosaicos semi-controlados, puesto que los mosaicos sin control alguno dan lugar a falsas apariencias de anomalías, especialmente en las zonas de unión de las fotografías.

3a.—Identificación de las trazas de fracturas en cada una de las fotografías, labor que, por ser evidentes la mayoría de las micro-fracturas, produce resultados exactos. Un buen intérprete puede requerir de 5 a 7 horas para la identificación de las trazas de fractura en una fotografía. Tales identificaciones deben ser verificadas por otro intérprete y, finalmente, revisadas por un supervisor.

4a.—Las fracturas así identificadas y confirmadas se transportan a una calca del mosaico fotográfico aéreo, el cual debe estar libre de indicaciones sobre el relieve topográfico.

5a.—Determinación de la orientación de cada fractura y de su longitud, y registro de las coordenadas de su centro.

6a.—Análisis de la orientación de cada fractura para determinar a cual de los cuatro grupos corresponde.*

7a.—Determinación de las normas regionales para cada grupo de fracturas en el área del proyecto, o en varias partes del área si éste es muy extenso, lo que se consigue mediante la confección de un "diagrama de frecuencia de "azimut-fractura" similar a otros muchos diagramas utilizados en relación con fallas, diaclasas y diques. Cada "diagrama de frecuencia" se encuentra dividido en los cuatro sectores indicados antes.

8a.—Cálculo de la "dirección media estadística", de cada grupo de fracturas, en el punto en que se intersecan las dos líneas limitantes de cada sector, tomándose muestras circulares centradas en el citado punto del sector en turno. El diámetro de cada muestra es de varias millas y depende de la profundidad que la investigación requiera, determinándose el diámetro correcto utilizable sobre la base de datos empíricos; se analizan los valores así logrados para determinar las "desviaciones locales", que se registran en una ecuación empírica, que sirve para fijar la "intensidad estructural" del punto considerado.

9a.—Configuración de los valores de la "intensidad estructural", y

* Según P. H. Blanchet (1957), la corteza terrestre se encuentra "sistemáticamente fracturada", lo que presupone la existencia de un sistema regular o normal de fracturas en la superficie terrestre, considerada en su conjunto. Este sistema de fracturas tiende a ser simétrico con respecto al eje de rotación de la tierra y, en consecuencia, en relación a los polos Norte y Sur, y al Ecuador. De acuerdo con las hipótesis de trabajo, este sistema de fracturas alcanzaría completa regularidad y simetría si la corteza fuese lateralmente homogénea. Se considera que tal irregularidad y las desviaciones de simetría, son el resultado directo de condiciones laterales heterogéneas dentro de la corteza, en ámbito regional o super-regional. Más particularmente, se ha encontrado que las desviaciones de la normal, se deben a la estructura local o a anomalías estratigráficas locales. Lo que se trata de precisar, en efecto, son las perturbaciones locales en las, de otra manera, configuraciones regulares de fracturas, regionalmente sistemáticas.

confección del "mapa de intensidad estructural", y de su correspondiente "perfil de intensidad estructural".

10a.—Interpretación estructural del precitado mapa, con ayuda de un "mapa de incidencia de fracturas", preparado con dicho objeto y configurado con curvas. Este mapa se basa sobre una evaluación estadística de las fracturas presentes, y muestra el número de unidades de fractura por unidad de área. Después se confecciona una calca en la que se recogen las máximas anomalías y, adicionalmente, se estudian las anomalías del drenaje, para confirmar por su medio evidencias adicionales de la estructura.

En el citado ejemplo del lago Wizard, las perforaciones efectuadas posteriormente en el área, confirmaron la interpretación llevada a cabo mediante el "sistema de análisis de fracturas", por cuyo procedimiento se pudieron localizar, más adelante, arrecifes, domos, trampas de falla, y otras estructuras, confirmadas también por las perforaciones subsiguientes.

En general, se pueden deducir las siguientes conclusiones sobre el valor de las alineaciones, como imágenes de fracturas, en las fotografías aéreas:

1a.— Aunque las alineaciones se producen en todas direcciones, se pueden observar ciertos rumbos preferidos, los cuales deben relacionarse con determinados rasgos o fenómenos geológicos localizables en las rocas del basamento o en su cubierta sedimentaria.

2a.—Las fallas acusan exactamente su presencia en las fotografías aéreas por medio de alineaciones, en la mayoría de los casos, y;

3a.—Lo mismo puede decirse de los sistemas de diaclasas, aunque no siempre son registrables en las fotografías aéreas todos los sistemas o grupos existentes en el terreno.

Todo lo que queda indicado, con respecto a la identificación e interpretación de "alineaciones" o "rasgos alineados", atribuibles a fracturas y a fallas, en las fotografías aéreas, es aplicable a las imágenes espaciales tomadas desde satélites artificiales, principalmente a las de tipo "Landsat", multiespectrales, con la aclaración de que en éstas, no son las micro-fracturas las que predominan, como ocurre en las fotografías aéreas, sino las fallas maestras, de enormes dimensiones muchas de ellas.

"La gran distancia a que se toman las imágenes espaciales, ha facilitado al observador una visión que profundiza en la corteza terrestre mucho más que la que permiten las fotografías aéreas, con lo que se logra la identificación de rasgos tectónicos fundamentales, desconocidos hasta ahora, además de completar los de carácter superficial, detectables en

gran parte en las fotografías aéreas, principalmente en forma de "alineaciones", pero con la notable diferencia de que, así como son casi exclusivamente rectilíneas en éstas, en las imágenes espaciales son, además de "rectilíneas", en gran medida "curvilíneas" (F. Guerra Peña, 1976).

Entre los fenómenos geológicos que evidencia la interpretación de estos rasgos rectilíneos y curvilíneos que exhiben las imágenes espaciales, cabe destacar los siguientes:

a) El de que las rocas que constituyen la parte superior y más externa de la litósfera, se hallan muchísimo más fracturadas de lo que anteriormente era dable suponer. Se ha podido establecer este hecho, a consecuencia de la mucho mayor riqueza de información lograda mediante la acumulación de datos, referente unos a la tectónica superficial, más o menos ya conocidos, y otros a la tectónica profunda, que ahora ya son registrables en las imágenes espaciales.

b) El del acomodamiento o ajuste, de un modo predominante, de la hidrografía al afallamiento o fracturamiento de las rocas, es decir, a la tectónica, tanto superficial como profunda, hasta tal punto que, casi toda la red hidrográfica, desde las corrientes fluviales a los lagos y lagunas, están supeditados y determinados por ella.

c) Las imágenes espaciales, principalmente las multispectrales del "Landsat", descubren la existencia en la litósfera, de unos rasgos complejos y enigmáticos, formados por "alineaciones" de forma circular o elipsoidal, en su conjunto, algunos de los cuales son de tipo "concéntrico" y otros de tipo "radial". Los primeros pueden ser reflejo superficial de grandes intrusiones ígneas y los segundos pueden deberse a un paleovolcanismo gigantesco y, también, en gran proporción a impactos de meteoritos en épocas muy lejanas de la historia de la tierra (F. Guerra Peña, 1976).

La Décimo Cuarta Regla Fundamental, se formula así:

"LOS RASGOS QUE EN LAS FOTOGRAFÍAS AERÉAS Y EN LAS IMÁGENES ESPACIALES, TIENEN UNA DEFINIDA EXPRESIÓN LINEAL, YA SEAN RECTILÍNEOS O CURVILÍNEOS, AISLADOS O AGRUPADOS FORMANDO SISTEMAS, CORRESPONDEN A RASGOS TECTÓNICOS, ESTRUCTURALES Y ESTRATIGRAFICOS DEL ÁREA REPRODUCIDA, PUDIÉNDOSE LOCALIZAR Y CORRELACIONAR DE ESTA MANERA, MUCHO MÁS FACILMENTE 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 O. D. Von Engeln (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 litósfera externa, constituyendo una de las principales ramas de la "fisiografía", al lado de la "hidrografía", que estudia la hidrósfera, 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 misma ciencia, al estilo de los autores anglo-americanos, y de los europeos, respectivamente, la que, aunque "estudia la litósfera con carácter actual, como mera descripción de la superficie e introducción a la geología", si se invierten los términos, puede ser considerada "como el último capítulo de la geología, y su campo de acción, la zona de contacto del aire, el agua y la tierra" (P. Novo y Fernández Chicharro, 1957).

Conviene aclarar que, no obstante la diferenciación entre las tres ramas citadas de la "fisiografía", y 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 hidrósfera, aunque sin llegar a los límites de la "oceanografía", y a la atmósfera, pero sin la especialización de la "meteorología" y de la "climatología".

En síntesis, la fisiografía es descriptiva y estática, mientras que la geomorfología es explicativa y dinámica; la fisiografía se refiere a las envolturas gaseosa, líquida y sólida del globo terráqueo, mientras que la geomorfología se ocupa solamente de la última, de la terrestre, con la extensión limitada al ámbito de las otras, anteriormente apuntada.

Las reglas de este grupo son, por lo tanto, de carácter geológico y, en consecuencia, de importancia capital en la interpretación fotogeológica. 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.

Así como la superficie terrestre, es decir, la de las tierras emergidas, y en muy estrecho límite la de las sumergidas,* constituye el campo natural de aplicación, o sujeto, de la fotografía aérea, al igual que el de las imágenes espaciales, del mismo modo las rocas que integran dicha superficie, por ser su materia prima exclusiva, forman el obligado ámbito de trabajo para el identificador e intérprete de dichos documentos cartográficos, cualquiera que sea la particular índole del análisis que lleve a cabo. El estudio detenido de las rocas será, pues, de preferente aplicación, en general, en todas las investigaciones que se realicen en conexión directa con la superficie terrestre, especialmente si se relacionan con la exploración de los recursos naturales situados en la cubierta externa del planeta. Y, esto es así, porque todos esos fenómenos tienen lugar sobre las rocas que constituyen, por sí solas, toda la superficie terrestre.

Para llevar a cabo su cometido, el intérprete se vale principalmente de las "expresiones" características que presentan las rocas, estudiando cuidadosamente sus "rasgos fisonómicos", por llamarlos así, comparándolos a los de los rostros humanos, porque cada grupo de rocas presenta, como los de éstos, rasgos característicos que las tipifican, distinguiéndolas de las demás. Desde este punto de vista, el intérprete o identificador deberá ser un buen "fisonomista", pero de la "faz de la Tierra", como diría el ilustre Eduardo Suess. Deberá poder identificar y correlacionar, clasificándolos, los principales grupos de rocas, por sus expresiones en las fotografías aéreas, dependiendo de su experiencia y conocimientos, el que pueda llevar la identificación y, en su caso, la interpretación, hasta especies rocosas difíciles de reconocer.

Estos rasgos que caracterizan las diversas clases de rocas, y que las fotografías aéreas muestran de forma insuperable, se localizan todos sobre la superficie terrestre, es decir, corresponden a rocas que afloran sobre ella, o muy cerca de ella y, por lo tanto, sujetas a la acción de los numerosos agentes que continuamente la trabajan. Según el clima, las rocas se comportarán de un modo o de otro, dentro de la misma clase o grupo, frente a los ataques de dichos agentes. Y, como resultado de tal comportamiento, se generarán rasgos particulares y muy típicos, por los que será posible identificar rocas y paleoclimas, con especificación de las circunstancias que han concurrido en éstos y las condiciones que se han dado en aquéllas.

Estas "huellas visibles" que en las rocas imprimen las acciones proce-

* En las sumergidas, exactamente hasta donde penetran en el agua los rayos luminosos, permitiendo ver el fondo, o sea, principalmente en las costas o litorales.

denes del clima y del paso del tiempo, derivadas en gran manera de su propia naturaleza y del elemento de que forman parte, y que constituyen sus "rasgos distintivos", permiten también fijar la "edad relativa" del fenómeno que la fotografía aérea registra, en un momento dado de su desarrollo evolutivo.

Tal fenómeno, general y permanente sobre la superficie de la tierra, no es otro que la "erosión", esto es, el conjunto de procesos que modifican el relieve terrestre, aumentando sus desniveles en unos casos, y disminuyéndolos, en otros; creando nuevas formas a expensas de otras que previamente destruye; y siempre en acciones sucesivas, recomenzando cada una el trabajo rematado por la anterior, como si se tratase de olas encadenadas unas a otras.

El valor del proceso "erosión", como factor clave para el análisis de los fenómenos naturales de la superficie terrestre ya había sido advertido desde muy antiguo y, así, los griegos concibieron la historia de la tierra "como una lucha entre el trabajo de destrucción de la "erosión", y la fuerza ascensional de un fuego interno". De igual manera, Alberto de Colonia imaginó "un movimiento incesante del hemisferio continental a consecuencia de la pérdida de sustancia debida a la "acción erosiva de las corrientes fluviales", hipótesis que se vuelve a encontrar en los cuadernos de trabajo de Leonardo de Vinci. En fin, en el siglo XVIII, son los "enciclopedistas" quienes hallan "las primeras demostraciones precisas del papel soberano de la "erosión", al originar soluciones de continuidad en los flujos volcánicos, y construir llanuras aluviales con sus despojos". Casi al mismo tiempo, Sir John Playfair (1802), concebía una teoría más rigurosa de la evolución de las formas, a las que se consideraba "como la progresiva modificación de un equilibrio" (P. Birot, 1955).

La importancia de este factor analítico clave no puede ser subestimada lo más mínimo, puesto que su valor extraordinario —que lo sitúa entre los más importantes del sistema— se deriva de la notable facultad que encierran las fotografías estereoscópicas aéreas, con sus imágenes tridimensionales, de exhibir clarísimamente el comportamiento de las diferentes clases de rocas ante los porfiados ataques de la erosión, lo que permite identificarlas, muchas veces con absoluta certeza, por su auténtica naturaleza geológica, y localizarlas directamente, así como mediante correlaciones.

Concretamente, son las diferencias en los caracteres del relieve, las que sirven para identificar los grupos de rocas en los modelos estereoscópicos, tanto en su aspecto cualitativo como cuantitativo, absoluto como relativo, porque el mismo agente obtendrá con el mismo esfuerzo, efectos distintos en rocas diferentes, según sea la naturaleza intrínseca de éstas y el clima, considerado como circunstancia extrínseca. Cada roca o

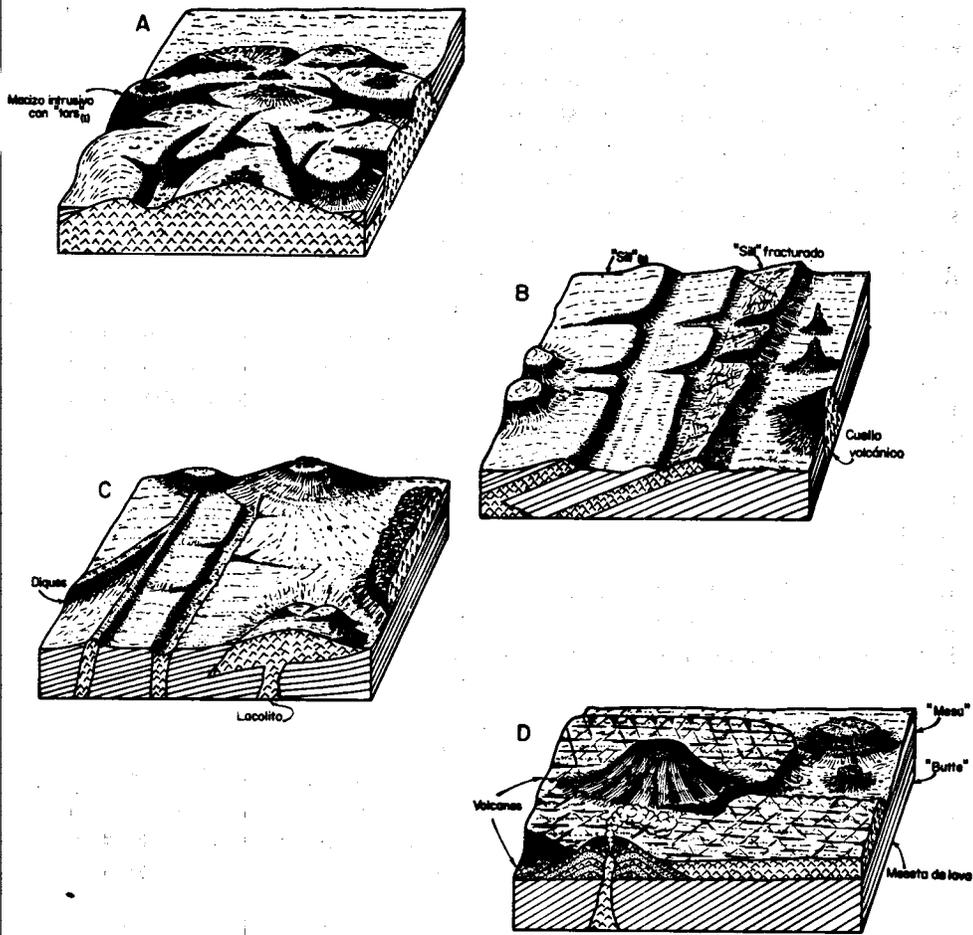
grupo de ellas tiene un modo específico de comportarse frente a la erosión, esto es, de responder a los agentes erosivos, y esta respuesta o comportamiento queda impreso en el relieve terrestre, como la "huella palpable" de la erosión, la cual es registrada exactamente en la fotografía aérea, y perfectamente reproducida bajo el estereoscopio en su imagen de tres dimensiones. Por el análisis de los rasgos erosivos se hace posible, pues, identificar la naturaleza de las rocas, la etapa o fase del proceso erosivo, los agentes que intervinieron, con la significativa determinación del, o de los preponderantes, y el clima que presidió todo el desarrollo del fenómeno.

Así, pues, conocidos los diversos modos de erosión de las diferentes rocas, resulta factible su identificación directa o indirecta, por la expresión erosiva que muestran en las fotografías aéreas. A este respecto A. J. Eardley (1942), dice "que en cualquier área de distribución heterogénea de diversos tipos de rocas, éstas responden a los agentes del intemperismo de distintos modos, y sus características de intemperización sirven para usarse en el trazado de los contactos". R. R. Hartman y K. N. Isaacs (1958), 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.

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

Por otra parte, las características distintivas de las rocas al ser erosionadas "dependen" del estado de desenvolvimiento de la forma terrestre, principio que W. M. Davis insistió en repetir, y cuya consecuencia ha sido el concepto de ciclo geomorfológico, que se puede definir "como los diversos cambios que en su configuración superficial sufre una masa terrestre, con los procesos cinceladores actuando sobre ella" (W. D. Thornbury, 1954).

Esta clave analítica es fundamentalmente geológica y, más particularmente, litológica, estructural, y tectónica, porque revela los materiales que constituyen las rocas, así como sus estructuras superficiales y, en ocasiones, las profundas, con toda clase de accidentes que las acompañan. Es también fisiográfica esta clave, por basarse en los rasgos físicos superficiales y, en mayor grado aún, geomorfológica, por exhumar la génesis y evolución de las formas de dichas rocas. Permite así la correlación de la "composición de las rocas" con el "relieve terrestre", como producto éste de la "erosión" de aquéllas, (Fig. 26 A, B, C y D).



Figuras 26-A, B, C y D

Diagrama mostrando las posibles relaciones entre las rocas ígneas y el relieve. (Segun B. W. Sparks).

Aunque cada roca produce rasgos del relieve con cierto grado de individualidad, algunas como las ígneas y las calizas, dan lugar a formas notablemente especializadas.

Entre las ígneas se puede hacer una distinción inicial, con las rocas extrusivas modernas por un lado, y las intrusivas y extrusivas antiguas, por otro. Las extrusivas modernas —flujos de lava— añaden al paisaje un rasgo que puede encontrarse en marcado contraste con el estado de desarrollo del resto del cuadro. Las intrusivas y las extrusivas antiguas tienen que ser exhumadas de debajo de una cubierta de sedimentos, y su configuración general puede reflejarse en el paisaje. Las diaclasas o juntas, características de muchas rocas ígneas, facilitan una gran claridad en los detalles de muchos casos, si bien debe recordarse que, en muchas rocas sedimentarias abundan también dichos rasgos.

Las formas de erosión de muchas de estas rocas son de las más fáciles de identificar en las fotografías aéreas, especialmente tratándose de extrusivas modernas e intrusiones tabulares.

Como se sabe, la “erosión” se encuentra íntima e indisolublemente ligada con el drenaje —que es otra valiosísima clave analítica— hasta el punto de que éste constituye la más importante y eficiente parte de la actividad de aquélla, en cuanto “erosión fluvial”.

Fotográficamente analizada, la “erosión” muestra un “paisaje” que corresponde a un instante de un, por lo regular, largo proceso, detenido y captado, precisamente, por la “exposición instantánea” de una cámara aérea, es decir, que la “erosión” exhibe el aspecto que presenta en un momento dado el área de la superficie terrestre que registra la fotografía aérea, considerada desde el punto de vista de su desgaste y nivelación por los diversos agentes erosivos, cuya acción se revela en dicho instante por sus específicas características de actuar y que muestra, de este modo, la constitución de las rocas afectadas por su trabajo, y el clima en que se realiza. No se trata, pues, del “fenómeno en sí”, sino del “cuadro momentáneo” que reproduce su estado de hecho en un instante dado, así como de la correlación de los caracteres que presenta con los factores físicos que los originan, ya se trate del clima, de los materiales que componen la superficie terrestre, de la etapa del ciclo evolutivo de la forma, o de los agentes que la modifican.

Variable contenido del concepto “erosión”.

La palabra “erosión” procede del latín “erosio”, “erosionis”, vocablos que equivalen al castellano “roedura”, o sea, a la acción de “roer”, de “gastar o quitar superficialmente, poco a poco y por partes menudas”. En sentido amplio, “erosión” significa, por lo tanto, “depresión o rebajamiento, producido en la superficie de un cuerpo por el roce de otro”.

Por lo que respecta al significado técnico y al alcance de su contenido, existe una completa confusión en la aplicación de la voz "erosión", cuyo valor cambia de un autor a otro, porque se emplea para calificar fenómenos distintos unas veces, y otras para designarlos solo parcialmente.

Esta confusión respecto al contenido técnico del vocablo "erosión", no es privativa del mismo, pues se extiende a otros muchos del léxico fisiográfico o geomorfológico, por referirse a ciencias que, como las citadas, se encuentran todavía en periodo relativamente joven, por así decirlo, en cuanto respecta a hipótesis y doctrinas nuevas, aportadas por las últimas investigaciones.

A este respecto, señala W. D. Thornbury (1954), que "desgraciadamente existe una confusa variación en el uso de los términos que designan los procesos geomórficos comunes. Hasta cierto punto —dice— esta confusión procede de diferencias de opinión sobre lo que contienen ciertos procesos, pero en grado considerable se debe a descuidos al pensar y al escribir. Los escritores no están, aparentemente, de acuerdo, respecto a lo que abarca el simple proceso de "erosión". Algunos incluyen el "intemperismo", aunque existe la progresiva tendencia a reconocer que el "intemperismo" no es parte de la "erosión". También puede haber diferencias de opinión respecto a si el "transporte" es parte de la "erosión", aunque por lo corriente es así considerado. Y, ciertamente —concluye— extender el significado de "erosión" hasta considerar la "agradación", como parte de ella, es ir demasiado lejos".

Insiste en el tema, F. J. Monkhouse (1959), cuando dice que "por lo común, hay una gran confusión en el uso de las palabras "erosión", "denudación", y "corrasión"; frecuentemente son empleadas indiscriminadamente, por cierto, como sinónimas. "Denudación" es un término amplio que abarca todos los procesos del esculpido terrestre, y que envuelve el transporte de materiales, incluyendo la "intemperización". La "erosión" comprende aquéllos procesos del esculpido terrestre que envuelven transporte de material, pero excluyendo el "intemperismo", que esencialmente se verifica "in situ". La "corrasión" se limita al trabajo abrasivo ejecutado por la carga efectivamente transportada, y realmente es erosión mecánica; excluye, por ejemplo, la erosión por solución.

Analizando, aunque solo sea momentáneamente, el tema, conviene constatar que Chamberlin y Salisbury (1904), dieron el nombre de "nivelación" (gradation), "a todos aquellos procesos que tienden a llevar a la superficie de la litósfera a un nivel común". En esta categoría incluían dos tipos de funciones: la rebajadora del nivel, o "degradación" (degradation), y la elevadora del nivel (aggradation). "Agradación, pues, equivale a "agregación" y a "deposición", mientras que "degradación" equivale a "disminución" o "rebajamiento".

Como sinónimos de “nivelación” se usan a veces, “denudación” (denudation) y “aplanación” (planation). Pero el término “denudación”, que implica movimiento de material, resulta impropio para incluir la “deposición”; y el término “aplanación”, implica “erosión”, pero no “deposición”. Para W. D. Thornbury (1954), “no obstante las correspondientes objeciones, “nivelación” es el término que se acerca más al concepto de “igualamiento de la superficie terrestre”, tanto por procesos constructivos como destructivos, que otro término disponible cualquiera.

W. M. Davis (1909), incluye en el término “erosión”, “los procesos generales de desgaste y lavado, por los que son lentamente arrasadas las estructuras superficiales, y atacadas las cada vez más profundas estructuras internas de la superficie terrestre. “Considera como sinónimo de “erosión”, el término “denudación”.

De igual parecer es Kirk Bryan (1922), para quien “erosión” abarca “todos los procesos por los que el material terrestre, o rocas, son desintegrados y removidos de lugar en lugar. Comprende “intemperismo”, “erosión” y “transporte”.

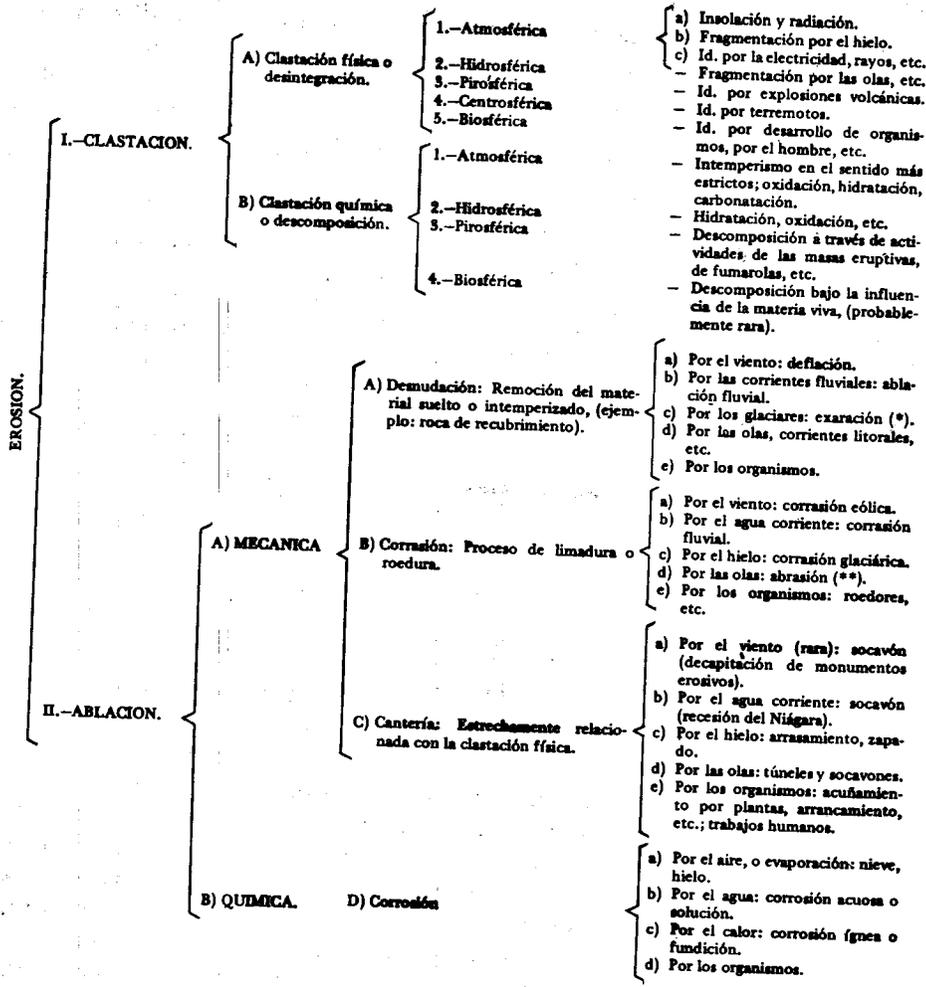
Por su parte, A. W. Grabau (1932), imprime su sello personal, tanto a las definiciones como a la distribución detallada de los agentes en el proceso general de erosión. Pero, al contrario que W. M. Davis y K. Bryan, considera a la “erosión” solo como una fase, al lado del “transporte” y la “deposición”, de los procesos de esculpido terrestre. La “erosión” —dice— “consiste en la “clastación”,* o ruptura de las masas de roca “in situ”, y la “ablación”,** o separación del material de la masa principal. El primer proceso es realizado en gran medida por las fuerzas atmosféricas y, por ello, es llamado “intemperismo”.

Los procesos y agentes de la “erosión”, los clasifica dicho autor, en un diagrama curioso y detallado, según el cuadro adjunto.

* Del griego “klastós”, roto.

** Del latín “ablatio”, acción de quitar.

CUADRO 1

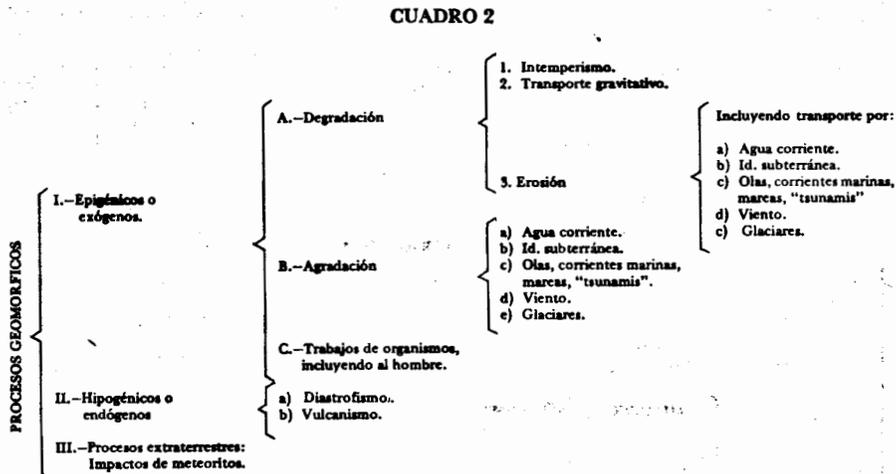


(*) Con este término designa Walter "los procesos generales de erosión por el hielo"; de "arare", fluir.
 (**) Término sugerido por Richthofen, y aplicado inicialmente a la acción de desgaste de las rocas por los agentes marinos y el viento.

Como se puede observar en este cuadro, la “gliptogénesis”, o esculpido de la litósfera,* se lleva a cabo en gran manera por la atmósfera, en mayor proporción aún por la hidrósfera, y en menor grado por la biósfera y la pirósfera.

Para W. D. Thornbury (1954), la “erosión constituye una parte de los “procesos geomórficos epigénicos degradantes”, y comprende incluso el transporte por los siguientes agentes geomórficos: a) agua corriente; b) agua subterránea; c) olas, corrientes marinas, mareas, “tsunamis”; d) viento; y, e) glaciares.

El cuadro general siguiente muestra la posición de la “erosión”, dentro de los procesos y agentes geomórficos, según el mencionado autor:



Por su parte, A. Holmes (1953), sostiene también el concepto restringido de la “erosión”, que comprendería según él, solo una de las partes en que considera dividida la “denudación”. “Es conveniente —manifiesta al efecto— considerar al “intemperismo”, como la disgregación de las rocas por agentes que no conllevan, o conllevan muy poco, el transporte de los productos resultantes, y a la “erosión”, como a la destrucción de la tierra por agentes que, simultáneamente, remueven sus restos. Ambas series de procesos cooperan en el arrasamiento de la superficie terrestre, y sus efectos combinados se describen con el término “denudación”.

Tratando de precisar el valor del término y sus verdaderos alcances,

* Del griego “gliptós”, esculpir, cincelar; y “génesis”, generación.

J. Bourcart (1957), describe el fenómeno de la "erosión", del modo siguiente:

"Desde que la superficie inicial queda establecida —"superficie estructural" la denominaron De la Nöe y Margerie (1888)— o, mejor aún, durante todo el tiempo que ha tardado en formarse, es atacada en su litoral por las aguas del mar, en todas partes por las aguas corrientes y, desde las cimas, por los glaciares. Se disgrega igualmente por los efectos alternantes del enfriamiento nocturno y del calentamiento diurno, de la humedad y de la sequedad, del congelamiento y del descongelamiento. Las rocas se resuelven entonces en pedrezuelas, en arena, en polvo. Estos productos móviles son seguidamente arrastrados hacia abajo, por la pesantez o por las corrientes de agua y, a veces, por el viento, y se acumulan en las partes niveladas. El relieve que tenemos ante los ojos nace de una deformación, y es enteramente transformado por las acciones de destrucción que se producen al contacto con la atmósfera. Se tiene la costumbre de denominar "erosión", a todas estas acciones de destrucción. En un sentido propio esta palabra significa "desgaste", como el que produciría la arena o un abrasivo cualquiera arrastrado por una corriente".

Como proceso, la "erosión" es el fenómeno que hace evolucionar el paisaje con mayor y más constante efecto, pese a que sufra momentos de detención o decaimiento relativos. "La geología y la tectónica —dice Leonardo Martín Echeverría (1940) determinan indefectiblemente la arquitectura fundamental de todo el relieve: pero su topografía actual y externa es la obra del modelado que han ejercido y vienen ejerciendo incesantemente, sobre las diversas clases de rocas, los "agentes erosivos", cuyas acciones mecánicas y químicas producen los cambios, destrucción y arrasamiento de las masas montañosas". Esta evolución, sobre todo cuando es violenta, también puede registrarse en las fotografías aéreas, destacándose su valor, precisamente, en la planeación de la prevención de sus efectos catastróficos, susceptibles de producirse a la larga o a la corta, como sucede con las inundaciones fluviales o la destrucción de los suelos por efecto de la erosión, e inclusive los deslizamientos de rocas, etc.

Los agentes erosivos que actúan sobre la superficie terrestre, como ya se ha apuntado, no son siempre "destructivos", pues "con los materiales que van desprendiendo y transportando construyen nuevos terrenos, y aunque la mayor parte de estas formaciones quedan ocultas bajo las aguas marinas o lacustres, otras quedan bajo la superficie continental e influyen en el modelado" (A. de Lapparent, 1898). No obstante, en la "erosión", la parte más importante es la "destructiva" o "degradante", puesto que es la que determina los más importantes rasgos de la fisono-

mía de la superficie terrestre. La "erosión", por lo tanto, se referirá principalmente a la acción "degradante", pero teniendo en cuenta a su lado, la acción "constructiva" o "reconstructiva" derivada de aquélla.

Esto hace que, así como los agentes del modelado o de la erosión son relativamente numerosos y, con frecuencia, bastante diferentes unos de otros, las "acciones por ellos ejercidas no pueden ser nada más que de tres clases, lo que simplifica la identificación y clasificación de las formas resultantes. Sobre este particular, P. Macar (1946), manifiesta que "una porción cualquiera de la superficie terrestre no puede ser modificada, en efecto, más que de tres modos diferentes: puede ser "deformada", que es lo que hacen los movimientos tectónicos; se la puede modificar por "adición" de materia, como lo hace, por ejemplo, un volcán emitiendo una colada de lava; y, se la puede modificar, en fin, por "sustracción", quitando o arrebatando materia, como lo hace la ola arrancando fragmentos al acantilado".

Como consecuencia de ello, el relieve producido por la erosión, en su acepción amplia y no restringida, será de tres clases, correspondientes a las tres formas de llevarse a cabo la "acción" de los agentes erosivos: el "relieve tectónico", resultado de movimientos del terreno; el "relieve de acumulación", resultado de fenómenos de edificación o construcción, como un cono volcánico o una duna formada por el viento; y el "relieve de sustracción" o propiamente "erosivo", del que el ejemplo más corriente es la excavación por el río de su correspondiente valle.

Sin embargo, la mayor parte de los "agentes externos" alternan las dos últimas formas de "accionar" y, de este modo, el viento que construye las dunas puede también erosionarlas y, los glaciares que erosionan los valles que ocupan, depositan en ellos los detritos en forma de morrenas; los ríos, por su parte, excavan también sus valles, pero depositan los productos de la excavación en el fondo de los mismos, construyendo llanuras aluviales; y, las olas del mar, que arrancan trozos al acantilado, forman con sus restos cordones litorales a lo largo de la costa. "Por ello, añade P. Macar (1946), resulta verdaderamente ilógico estudiar separadamente las acciones de "erosión" y de "acumulación" de dichos agentes, puesto que con gran frecuencia se interpenetran estrechamente". Opinión, como puede constatarse, en un todo opuesta a la de W. D. Thornbury (1954).

"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 lo que se debe el que cada tipo de roca tenga un modo caracterís-

tico de erosionarse" (F. Guerra Peña, 1961). Conocidos así los diversos modos de erosión de las diferentes rocas, resulta factible su identificación directa o indirecta, por la expresión erosiva que exhiben en las fotografías aéreas. Y esta expresión será tanto más fidedigna, y la identificación más fácil y correcta, por lo tanto, cuanto más pura sea la roca, es decir, más homogénea.

Según F. H. von Bandat (1962), y por la razón anteriormente apuntada, "solamente las principales unidades litológicas pueden ser identificadas en las fotografías aéreas, como areniscas, lutitas, calizas, y ciertos tipos de rocas ígneas y metamórficas, mientras que materiales sin consolidar, como arenas, gravas, arcillas, sedimentos glaciáricos, loess, se encuentran usualmente identificados con típicas formas terrestres, como dunas, terrazas, y glaciares".

Sin embargo, es posible identificar los tipos intermedios de rocas, mediante el análisis de la "erosión diferencial" o "selectiva", originada por la diferente resistencia a la erosión de las diversas clases de rocas. Las rocas consolidadas presentarán formas topográficas positivas, mientras que las sin consolidar, las presentarán negativas, disecadas, y menos pronunciadas que las positivas, por la labor de relleno o "reconstrucción", de la erosión.

Estos tipos intermedios o mixtos de rocas no presentarán expresiones de relieve tan características y netas como las que ofrecen las rocas puras y homogéneas, y se acercarán a estos tipos en la medida que su composición determine. En fin, los tipos de roca pueden ser tan mezclados que no puedan desarrollar caracteres suficientes para poder ser identificadas por ellos; más, una vez identificado el tipo, por rebelde que resulte por su composición, a esta operación, siempre serán otros semejantes identificables, por correlación con él, al menos dentro de un área determinada.

Esta fácil correlación entre determinadas rocas y características formas topográficas o del relieve, puestas de manifiesto por la acción erosiva y, con más trabajo, entre las rocas y sus respectivas expresiones erosivas, han habituado a los observadores "a las cornisas de las mesetas calcáreas, al modelado indeciso y mudo de las pendientes arcillosas, al aspecto ruiforme de las dolomías, a los pilares de las escarpas de arenisca, y a las cúpulas redondeadas de los domos graníticos" (De E. de Martonne, 1951).

De lo dicho anteriormente se deduce que, aunque cada roca tiene una forma especial de erosionarse, observando el problema con más atención, puede comprobarse que tal aserto es solamente válido en parte, puesto que las mismas clases de rocas no adoptan las mismas formas de erosionarse en todos los lugares de la superficie del globo. "Resulta im-

posible, —dice E. de Martonne, 1951 —concebir una erosión granítica, de arenisca, calcárea, idénticas en las regiones húmedas, en las regiones áridas, en las regiones glaciáricas; en las montañas y en las colinas; en una región donde el ciclo de erosión se encuentra en sus comienzos, en una región donde ya traspasó la fase de madurez, o en otra donde ya llegó a la senilidad y ha sufrido un rejuvenecimiento”. El mismo autor concluye de todo ello que “las distinciones litológicas basadas en el tipo de erosión y correspondiente relieve, son reales, pero “estrictamente locales”. Existe, ciertamente, un tipo de relieve o de erosión granítico, y uno esquitoso, pero solo en una región limitada, si las condiciones del clima y las circunstancias de la erosión son, en todas partes, las mismas”.

La dificultad estriba, para establecer la identificación en que las clasificaciones geológicas de las rocas se basan, bien en la edad de las mismas, o bien en su modo de generarse, pero no tienen para nada en cuenta las propiedades físicas y químicas, que determinan el tipo de erosión. Y, así, hay muchas clases de calizas y muchas de granitos.

Aunque ya S. Passarge (1912), intentó confeccionar mapas litológicos para la interpretación de las formas erosivas o del relieve, ha sido posteriormente, con el empleo de las fotografías aéreas en los análisis geológicos, es decir, mediante la aplicación de la fotogeología, como se han conseguido confeccionar tales mapas litológicos, aunque ejecutándolos de modo inverso, es decir, interpretando las formas de la erosión como evidencias de la naturaleza litológica. Analizando así, las diversas manifestaciones del relieve terrestre, esculpido por los agentes erosivos, se han podido identificar las diversas clases de rocas y trazar los contactos litológicos, tarea mucho más fácil realizada sobre las fotografías aéreas que en el campo y, desde luego mucho más exacta, completa y rápida, aún teniendo en cuenta el tiempo empleado en la verificación de los datos obtenidos, en el propio terreno.

Porque para estudiar el fenómeno de la “erosión”, unas veces de dimensiones demasiado grandes y otras demasiado pequeñas, unas veces de desarrollo rapidísimo y otras muy lento, las fotografías aéreas verticales estereoscópicas constituyen el medio ideal, pues lo abarcan en sus tres dimensiones, que es la única forma de poder analizar el relieve que la “erosión” modela. Teniendo en cuenta, además, la posibilidad del empleo de la fotografía a la escala adecuada, siempre será posible realizar el estudio del modo más correcto y eficiente.

Considerada a este respecto, la fotografía aérea, principalmente la vertical, no es otra cosa que la imagen de una “superficie de erosión”, esto es, de una “superficie desintegrada, disuelta y desgastada, por la acción de las corrientes fluviales, del hielo, de la lluvia, de los vientos, y de otros agentes terrestres y atmosféricos” (F. L. Ransome, 1919).

También tiene importancia en la identificación de las rocas por sus imágenes reflejadas en las fotografías aéreas, el criterio de la edad geológica, pues son, en general, las rocas más antiguas las más afectadas por el metamorfismo, las más fracturadas y las más compactas. "Las rocas endógenas" —dice a este respecto E. de Martonne, 1951— resultado de la cristalización por enfriamiento de elementos de origen profundo, que han sido empujados hacia la superficie o hasta cerca de la superficie del suelo, tienen una estructura compacta, por lo general, y forman extensos y gruesos macizos, donde la "erosión" penetra sin encontrar cambios apreciables. Las "rocas volcánicas" dan lugar a relieves postizos sobre el terreno. Las rocas más antiguas son más duras que las recientes, en términos generales". No obstante, existen excepciones a esta regla, como en extensas regiones de la Unión Soviética, donde los estratos primarios no han sufrido nunca plegamientos vigorosos y continúan en el mismo estado que cuando fueron depositados en el mar.

Finalmente, para fijar el concepto de "erosión", e independientemente de todas las diversas opiniones, reseñadas antes, conviene aclarar aquí su alcance, por lo que se refiere al significado que se le da en este trabajo y, en tal sentido, "erosión es un factor analítico clave del sistema de identificación de las imágenes fotográficas aéreas, correspondiente al proceso modificador de la superficie terrestre, por destrucción de la ya existente, mediante el trabajo de sus diferentes agentes, en su mayor parte externos, y por ello denominados agentes erosivos, y construcción de otra nueva con los restos de la antigua, con tendencia constante a la nivelación superficial".

Por tanto, "degradar", "denudar", "esculpir" y "erosionar" son, para estos efectos, términos sinónimos; y, "agregar", "construir" o "depositar" —en el ambiente continental, y todo lo más, litoral— también lo son.

Interesa tan solo el valor relativo del término, para designar el proceso externo que sirve para conformar la superficie terrestre, levantando aquí nuevas formas a costa de las antiguas, destruídas allá. De este modo la "intemperización" de los materiales de la corteza terrestre, constituye el comienzo de la erosión, como parte inicial de ésta, y también lo es su "transporte", por los diversos agentes, así como las "nuevas formas", edificadas a expensas de las antiguas, desaparecidas. Pues, para el identificador e intérprete de fotografías aéreas, que ha de analizar, tanto las formas destructivas o estrictamente erosionales, como las constructivas, que son sus derivadas —puesto que la materia no puede desaparecer— la "erosión" comprende ambas categorías de rasgos, y bien se deban a los agentes exógenos o epigénicos, o a los endógenos o hipogénicos, porque el fotogeólogo tendrá que considerar todas esas formas, para analizar los materiales que las compongan, sin excepción alguna.

Es decir, que por dicha razón, se admite aquí el concepto más amplio del fenómeno y procesos de la erosión.

El ciclo de erosión.

El concepto de "ciclo" es muy importante en la "erosión", porque muestra el desarrollo hipotético del proceso erosivo, vivificando con su dinamismo el contenido teórico del mismo, mostrándolo en movimiento con su secuencia natural, y sin solución alguna de continuidad en su conjunto, puesto que para estos efectos los accidentes que pueden modificar un ciclo, no cuentan.

El vocablo "ciclo" procede de la voz latina "cycclus", y ésta de la griega "kyklós", que significa círculo. El adjetivo "cíclico" se aplica, por lo tanto, "a cualquier acción o proceso que, después de haber seguido un determinado curso, o cumplido un definido orden de cambios, comienza de nuevo el mismo curso u orden, y así indefinidamente, hasta que alguna nueva influencia detiene o cambia la acción" (A. H. Fay, 1920).

Concretamente, el concepto de "ciclo de erosión", se debe a W. M. Davis (1902), quien lo definió como "el periodo de tiempo durante el cual una masa de tierra levantada sufre transformaciones por el proceso de esculpido terrestre, concluyendo en una llanura baja carente de rasgos".

Esta secuencia en forma de ciclo es muy común y característica de muchos fenómenos naturales, además del constituido por la "erosión", como el de la "evolución" en general, o el de la "actividad ígnea" en particular. Con el de erosión, se relacionan los ciclos de sedimentación y de denudación, de intemperización, etc.

Para aclarar la idea es conveniente reseñar cómo han descrito el "ciclo de erosión" algunos otros autores, y entre ellos, Chamberlin y Salisbury (1906), quienes lo concibieron como "el tiempo empleado en la reducción de un área terrestre al nivel de base", o como L. Martin (1916), quien lo definió como "el periodo de tiempo durante el cual un bloque de la corteza terrestre permanece estacionario con respecto al nivel del mar", o según M. R. Campbell (1927), para quien es "el tiempo involucrado en la reducción del área de una tierra recientemente levantada, al nivel de base".

Para C. A. Cotton (1922), "ciclo de erosión" es "el periodo ocupado por la serie entera de cambios en el relieve producido por la erosión, siguiendo al levantamiento de una superficie de cualquier forma, sobre el nivel del mar".

A. K. Lobeck (1939), hace la atinada aclaración de que "el ciclo de erosión concierne a las grandes masas terrestres más que a las corrientes

fluviales y que se refiere "a los estados a través de los cuales pasa una masa de tierra, desde el tiempo de su levantamiento, hasta alcanzar la forma de penillanura".

Como puede verse, los agentes de erosión, es decir, los de disgregación mecánica y química, y de transporte en masa de las rocas, considerados en su totalidad, ejercen una acción conjunta sobre el relieve terrestre siguiendo determinada secuencia cíclica, por lo que se denomina "ciclo de erosión" a este proceso de evolución del relieve, a partir de una forma originada por un movimiento tectónico, y que puede ser una llanura, una meseta, o una montaña, hasta llegar al nuevo punto de partida, o sea, a una de esas formas iniciales, después de transcurrido el "ciclo de erosión", sucediéndose y recomenzando la secuencia de cada ciclo, después de concluído el anterior, el que puede verse interrumpido por diversos accidentes, como cambios de clima, movimientos tectónicos del suelo, o fenómenos eustáticos.

El concepto de "ciclo" es preciso aceptarlo con salvedades, toda vez que no se trata de que la evolución conduzca de nuevo y, precisamente, a las condiciones iniciales, puesto que éstas son solo relativas, al desaparecer sucesivamente para no volverse a dar.

Como base de discusión teórica se ha adoptado generalmente, como punto de partida, del ciclo de erosión, a la "meseta" típica. Pero aunque se adopte el de "llanura", o el de "montaña", siempre será igual el resultado de la erosión, puesto que actúa en todos los casos de un modo análogo.

Resulta evidente, en efecto, el que, si los agentes y procesos de erosión disponen de un periodo indefinido para la realización de su labor, forzosamente habrán de llegar a la reducción o rebajamiento de las regiones más altas y amplias de la superficie terrestre a un nivel último, que será el más bajo posible, y que William Powell (1875), propuso fuera el nivel del mar. Esta labor de todos los agentes de erosión se realiza en una forma "cíclica", es decir, sucediéndose y recomenzando en cada ciclo, la labor acabada en el anterior, de un modo semejante, secuencia que constituye el "ciclo de erosión".

W. M. Davis (1899), que fué quien acuñó el concepto, como ya se ha indicado anteriormente, denominó a esta sucesión de etapas en el modelado terrestre, "ciclo geográfico", y A. C. Lawson (1894), "ciclo fluvial" o "ciclo geomórfico normal", por ser el agua corriente el más potente y extendido agente subaéreo del vaciado terrestre, pues como dice von Engeln (1939), "la historia normal del paisaje es la de la disección progresiva y degradación del paisaje de las tierras elevadas, por la acción fluvial". En la práctica, sin embargo, todos esos términos se emplean sinónimamente.

La idea del "ciclo de erosión" procede directamente de la "doctrina del uniformismo" —o "uniformitarianismo", como prefieren otros— que, como es bien sabido, consiste "en el intento de explicar los antiguos cambios de la superficie terrestre, por referencia a las causas actualmente en operación", según la definición Charles Lyell (1830-32), basándose en la idea del gradual y lento desenvolvimiento de las formas terrestres, expuesta por James Hutton (1795), e ilustrada posteriormente por John Playfair (1802).

Cotton (1952), describe el "ciclo geomórfico" o de "erosión", y al efecto manifiesta que "los paisajes sucesivos, o aspectos del paisaje producidos por la erosión, después de un levantamiento de cualquier clase de una porción de la superficie terrestre sobre el nivel del mar, comprenden un "ciclo de erosión" o "ciclo geomórfico". La superficie en que los agentes de erosión comienzan su trabajo, es la "superficie inicial", y su relieve, el "relieve inicial". En el otro extremo de la secuencia, después que los valles han sido excavados por la erosión, y el relieve residual así producido ha sido destruído por una continuación de los mismos procesos, la forma acabada resultante se denomina "penillanura".

Este término de "penillanura", se debe también a W. M. Davis, y literalmente quiere decir "casi llanura" —al igual que el de "península" quiere decir "casi ínsula" o "casi isla", significando con ello que la correspondiente área ha sido "aplanada" o "rebajada", hasta una condición de nivelación, o casi de "llanura". El vocablo ha hecho fortuna, y hoy es unánimemente admitido, pese a las críticas, muchas veces acertadas, que al mismo se han hecho. En inglés, su equivalente es "peneplain", y en alemán "fastebene".

En efecto, la "penillanura" no es una llanura, aunque lo es casi. Pero la voz sugiere la idea de llanura y, con ella, la noción de acumulación, siendo así que la "penillanura" constituye, por el contrario, una superficie de erosión hasta con desigualdades formadas por algunos relieves de rocas duras, "testigos de erosión" o "relieves residuales", denominados por W. M. Davis, con la voz india "monadnock", del monte Monadnock, en Nueva Inglaterra, tomado por él como rasgo típico, y llamado "cornet" en los Cárpatos, y "skrurs" por los árabes, en el Marruecos Occidental. Por ello, y para evitar confusiones, que se han dado en la realidad, D. W. Johnson (1919), propuso el vocablo "peneplane", en vez del de "peneplain", en inglés, haciendo así alusión a "una superficie plana, término que podría utilizarse para designar todas las superficies subhorizontales". De la Nöe y Emm. de Martonne (1888), propusieron por su parte el término "surface de base" (superficie básica o de base).

El concepto de "ciclo" ha sido muy criticado. A este respecto —dice E. de Martonne, (1951), que "la palabra "ciclo" parece implicar que la

fase final conduce al punto de partida, lo que no es cierto, evidentemente, en la mayoría de los casos; la voz "ciclo" no se podría justificar nada más que en sentido dinámico, manifestándose así, que al comienzo del ciclo no hay todavía erosión y que, al final del mismo, tampoco la hay. Pero la idea esencial es la de una evolución necesaria y no reversible de las mismas formas y procesos del modelado".

M. Derruau (1958), describe el "ciclo de erosión" en una región de pronunciado relieve, en los términos siguientes: ". . . con la erosión los ríos se hunden, y su acción se ejerce también sobre las vertientes. Si el trabajo dura suficiente tiempo sin interrumpirse, el relieve terminará por atenuarse, hasta hacerse insignificante. Pero si llegada la evolución a este punto, sufre la región un brusco levantamiento o plegamiento, o un cambio climático restituye el perdido vigor a los ríos, la escavación recommienza, y el relieve se renueva. Se llama "ciclo de erosión" a esta evolución teórica, porque vuelve sobre ella misma una vez que la renovación del relieve ha creado condiciones semejantes a las del punto de partida. El "ciclo" comprende, pues, propiamente hablando, un largo periodo de erosión y un brusco rejuvenecimiento y no, como podría suponerse, un largo periodo de erosión solamente. El ciclo constituye un encadenamiento de fases que se suceden en un orden irreversible, y que se ha comparado a la evolución de la vida humana, desde el nacimiento hasta la muerte, después de pasar por los estados de "juventud", "madurez" y "vejez".

Esta comparación de la evolución del ciclo de erosión y su división en fases o etapas, con los correspondientes estados similares de la vida humana, se debe también a W. M. Davis, quien inicialmente lo dividió en las tres mencionadas, de "juventud", "madurez", y "vejez", denominándolo también "ciclo vital", por ello. Con posterioridad se han propuesto otros términos para designar esas mismas fases, y evitar las críticas que se les hacían, por prestarse a confusiones, de manera que muchas veces se han designado como maduras formas seniles y, otras veces, por el contrario, se ha dudado en calificar de maduras a formas con relieve todavía pronunciado. Entre estos vocablos propuestos, figura el de "estado de equilibrio" (stade d'équilibre), para la madurez, o los más abstractos de "inicial", para la juventud, "subsecuente" o "consecutiva", para la madurez, y "final", para la vejez.

Pero como en estas tres etapas del ciclo de erosión resulta imposible encajar todos los estados evolutivos intermedios de cada periodo cíclico, se han inventado otros términos para designarlos, como de "infantil" o "infantilismo", y de "adolescencia", como previos al de juventud; el de "madurez avanzada", como posterior al de madurez; y, el de "senil" o "senilidad", como posterior al de vejez, etc. Otras veces, se subdivide

cada una de las tres principales fases, de "juventud", "madurez", "vejez", en otras tres: "temprana", "media" o "mediana", y "tardía".

El estado de "infantilismo", por ejemplo, se produce cuando una región bascula lentamente en el área interior de los cursos de agua, sin dar lugar a una ola de erosión progresiva, que se extienda aguas arriba. Dichas corrientes se encajarán moderadamente.

Conviene aclarar el que casi todas las superficies topográficas se deben a relieves "policíclicos", es decir, que han sido modeladas por "series de ciclos de erosión" sucesivos (Fig. 27).

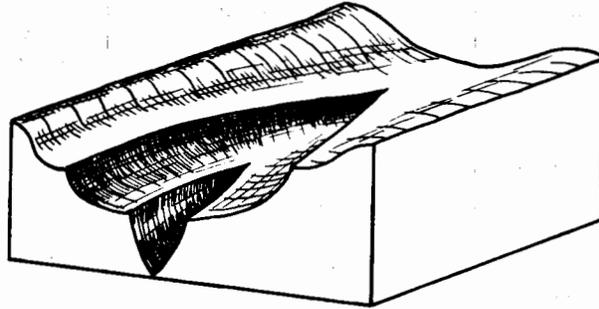


Figura 27

Encajonamiento de formas cíclicas. (Según M. Derruau).

La sucesión de formas cíclicas, que se observa en los perfiles longitudinales, también se encuentra en los perfiles a través de los valles. La garganta de erosión regresiva se inscribe en la superficie cíclica anterior, de manera que la forma reciente se encuentra literalmente "encajada" en la forma antigua. No es necesario que la garganta así establecida lo haga en el eje del valle anterior, a causa de que, por ejemplo, el curso de la corriente haya migrado por evolución de sus meandros, (Fig. 28).

Reduciéndose a las principales etapas del ciclo de erosión, propuestas inicialmente por W. M. Davis, E. de Martonne (1951), las describe vívidamente del modo siguiente:

Juventud.

Se señala por una actividad muy grande de todos los procesos de erosión, con rápidos cambios de forma. Los "thalwegs" se excavan y profundizan en búsqueda del perfil de equilibrio; las cuencas fluviales se

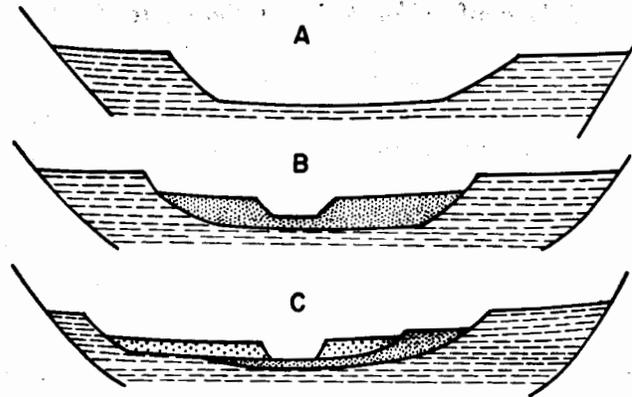


Figura 28

Esquema de terrazas policíclicas encajadas. (Según E. de Martonne).

agrandan; la lucha por el drenaje es áspera, produciéndose capturas por todas partes; la construcción de las vertientes se realiza muy activamente, sin poderse reducir la pendiente, por lo general, a causa de la rapidez en la profundización de los "thalwegs"; se observan derrumbamientos y torrenteras. Los detritos, a causa de su excesiva abundancia, no pueden ser regularmente evacuados, acumulándose al pie de las vertientes, donde se forman taludes de desplome; deteniéndose también a cada disminución de pendiente de un "thalweg", y formando pequeños llanos. El escurrimiento del agua no está bien regulado; en sus cursos superiores, todas las corrientes son más o menos torrenciales, y a menos que el clima no sea excesivamente igual en temperatura y humedad, los "thalwegs" pueden quedar en seco durante algún tiempo, para ser enseguida alimentados por las primeras lluvias en violentas crecidas. Múltiples rupturas de pendiente dan lugar a cascadas y a rápidos que retroceden, generando estrechas gargantas.

Caracteriza a la etapa de "juventud" una actividad violenta, irregular y desordenada; tanto más violenta y efectiva cuanto más avanzada esté la evolución; y tanto más irregular y desordenada, cuanto más próxima se encuentre, por el contrario, al comienzo del ciclo. Las mismas formas y, sobre todo, su orden en magnitudes, dependen del desnivel entre el nivel-base y las partes más altas de la primitiva superficie. Si es fuerte el desnivel aparecerán configuraciones de montañas: valles muy profundos tendrán su sección en V aguda; los afluentes, al no poder seguir profundizando el valle principal, desembocarán por gargantas a rápidos, e inclu-

sive a cascadas; la confección de las vertientes tendrá lugar, principalmente, por desplome; por todas partes se formarán conos de deyección y pequeñas llanuras cortadas en terrazas. Si el desnivel es débil, los valles serán naturalmente menos profundos, aunque en sus comienzos igualmente estrechos; las irregularidades de pendiente y de igualación de los "thalwegs" serán menos sensibles y desaparecerán muy pronto; a los hundimientos sobre las pendientes suceden las torrenteras y el deslizamiento de los detritos; se desarrolla una configuración de colinas. La etapa de "juventud" dura más largamente en las montañas, pero es siempre fugitiva.

Madurez.

Lo que se denomina "etapa de madurez" no abarca todo el intervalo hasta la vejez o estado final, pero designa una etapa característica en la evolución continua. En la "madurez" los progresos de la erosión se encuentran demasiado avanzados ya y el drenaje, por ello, perfectamente organizado, con el trabajo de las diversas fuerzas armoniosamente combinado. Se podría decir de la "madurez" que es una fase de armonía y de equilibrio, en la que han desaparecido las rupturas de pendiente; no se observan más confluencias de corrientes secundarias; y, cuando menos, los principales "thalwegs" han alcanzado el perfil de equilibrio. La confección de las vertientes se prosigue por torrenteras y, sobre todo, por deslizamiento lento de los detritos. Ya no hay más gargantas, sino valles en V abierta, valles disimétricos y valles aluviales de artesa, que pueden ser el resultado del desarrollo muy adelantado de meandros encajonados. Los aluviones son evacuados hasta la llanura de pie de monte o de nivel-base. El escurrimiento de las aguas es regular. Las fuentes alimentan todas las corrientes, incluso sobre terrenos impermeables; la formación de un manto de móviles desechos permite la existencia de fuentes superficiales. No son desconocidas las crecidas, pero siempre hay agua en los "thalwegs", al menos que el clima tenga un periodo seco muy marcado.

Este estado de armonía y de equilibrio no excluye la presencia de audaces formas terrestres, pues "madurez" no quiere decir débil relieve. Si el desnivel entre los puntos altos de la primitiva superficie y el nivel-base, es muy fuerte, se hace preciso que la excavación de los "thalwegs" sea muy profunda para que alcancen el perfil de equilibrio; las vertientes de los valles vecinos se recortan, dando lugar a crestas estrechas, con collados por accidentes, cuando los "thalwegs" se aproximan entre sí. Con desnivel inicial débil, el perfil de equilibrio se puede alcanzar sin excavación profunda; el recorte de las vertientes origina lomas redondeadas por el deslizamiento de los detritos; en lugar de montañas se dan

configuraciones de colinas. El estado de "madurez" es menos fugitivo que el de "juventud"; más, sin embargo, es también transitorio. (Figs. 29 A y B).

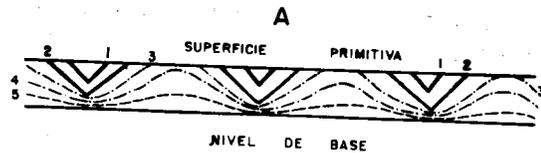


Figura 29-A

Evolución esquemática de una llanura. (Según P. Macar).

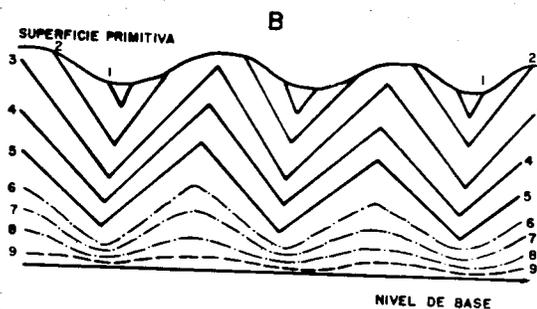


Figura 29-B

Evolución esquemática de una región montañosa: 1-5, juventud; 6-8, madurez; 9, senilidad. (Según P. Macar).

Vejez.

Prosiguiéndose el "ciclo", la evolución conduce a la "senilidad" o "estado final", que se realiza en la "penillanura". Cualquiera que haya sido el desnivel entre la superficie primitiva y el nivel-base, aquélla está destinada a desaparecer completamente al fin del ciclo de erosión. El modelado de las vertientes que se recortan ha hecho desaparecer completamente la superficie primitiva; disminuyendo su pendiente más y más, el

deslizamiento de los detritos se amortigua. Una capa de productos de descomposición cubre toda la superficie, más delgada sobre las alturas redondeadas, donde algunas rocas muy duras pueden todavía formar un relieve aislado —“monadnocks” de Davis— y más gruesa hacia el fondo de los valles, que se ensanchan hasta confundirse. La llanura de nivel-base se despliega desmesuradamente, invadiendo los valles principales y remontando muy lejos de las desembocaduras. Todas las fuerzas que trabajan con violencia y desorden al comienzo del “ciclo”, con potencia y armonía en el estado de “madurez”, parecen adormecidas; es lo que resulta muy bien expresado con el término “estado de senilidad”.

Criterios para distinguir las etapas de “juventud” y “madurez” en el “ciclo de erosión”.

Resulta muchas veces, difícil, distinguir entre las fases del ciclo de erosión, como ya se ha indicado, por lo que conviene observar determinados criterios, como instrumentos prácticos para verificar tales distinciones. M. Derruau (1958), recomienda los siguientes:

a) El relieve es “joven” mientras subsistan fragmentos de la topografía anteriores al rejuvenecimiento.

b) La topografía será “madura”, desde el momento en que las áreas interfluviales sean rebajadas por debajo de la topografía anterior al rejuvenecimiento, habiendo desaparecido ésta enteramente.

Otro de los criterios señalados por el mismo autor es el de las “vertientes” o del “grado de evolución de las pendientes”, según el cual:

a) Se denomina “joven” un relieve caracterizado por vertientes que evolucionan por deslizamiento, y se presenta con perfil rectilíneo, si la estructura es homogénea.

b) Una topografía es “madura” desde que las vertientes comienzan a regularizarse, se recubren de una capa uniforme de detritos, todavía toscos, desde luego, y adquieren un perfil convexo en la cima y cóncavo en la base. (Figs. 30-A, B, C y 31-A, B).

Los principales rasgos sintetizados de las diversas fases del “ciclo de erosión normal”, o sea, el de las regiones húmedas, son los siguientes, según P. Macar (1946).

Juventud:

a) Inicia rápidamente la erosión el “recorte” y “despedazamiento” de la superficie primitiva, de la que al poco tiempo no subsisten, en el caso de una llanura o de una meseta, nada más que zonas alargadas, reducidas

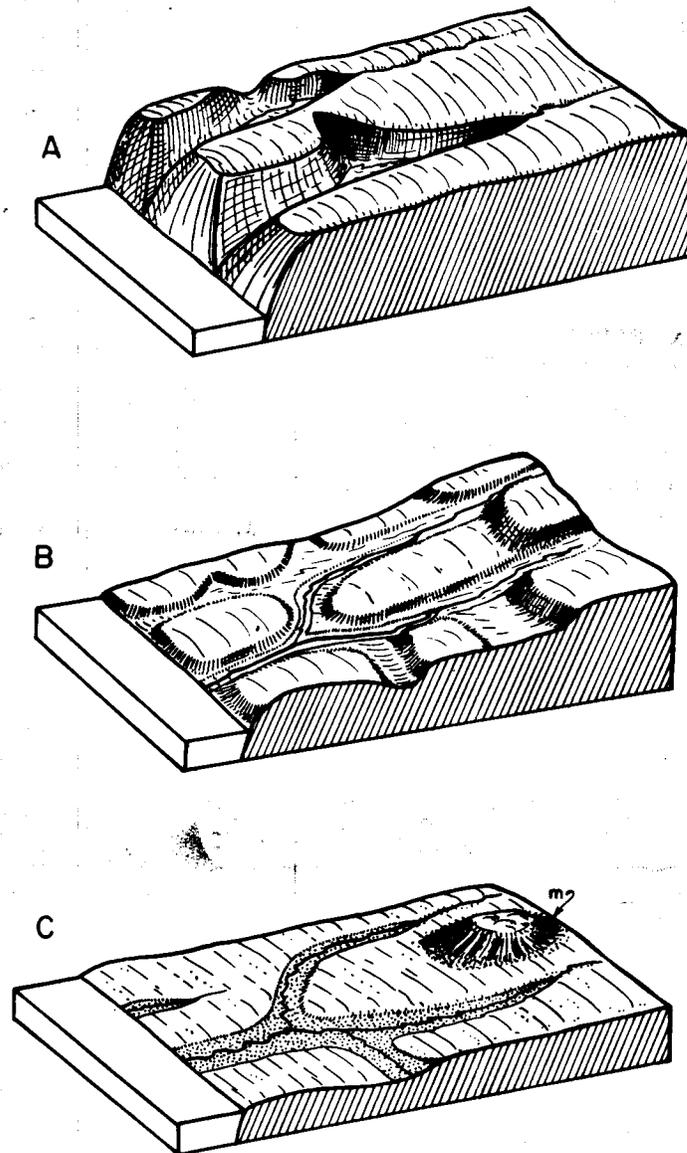


Figura 30-A, B, C

Tres etapas de un ciclo de erosión: A, juventud; B, madurez; C, vejez. (En punteado, aluvión; M, "monadnock"). (Según M. Derruau).



Figura 31-A, B

A.—Perfil de una cadena montañosa en la fase juvenil.
 B.—La misma cadena montañosa de A, en estado de madurez.
 (Según P. Macar).

a veces, a crestas de lomo plano, que se extienden entre las corrientes.
 (Figs. 32-A, B, C, D).

b) Se “acentúa el relieve”, es decir, se aumentan las diferencias entre los puntos culminantes y los puntos bajos de la erosión, lo que motiva el que la primera etapa de la evolución se caracterice por un “fuerte relieve”.

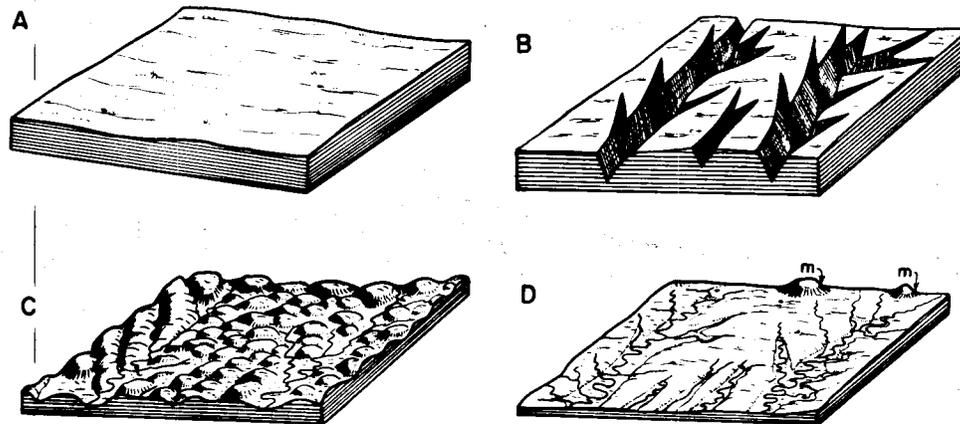


Figura 32-A, B, C, D

Evolución de una meseta en el ciclo de erosión normal: A, superficie primitiva; B, juventud; C, madurez; D, senilidad.
 (Según P. Macar).

c) "Formas atrevidas y contrastadas" constituyen el relieve, como consecuencia de poner en evidencia la erosión la diversa naturaleza de las rocas, lo que "diversifica" el relieve, por efecto de la "erosión diferencial".

d) La "erosión es muy activa", tanto en el fondo de los valles como en las vertientes, que la erosión vertical de los cursos de agua mantiene con acentuada pendiente.

e) Se verifica una violenta y activa "lucha por el drenaje", como resultado de la tendencia de las corrientes primitivas a desarrollarse más y más, mientras se multiplican los afluentes. El enriquecimiento de la red hidrográfica así originada provoca inevitablemente el encuentro de los cursos de agua entre sí, los que se enfrentan unos a otros, creciendo el más favorecido por aumentos de longitud o por captura, a expensas del, o de los otros.

Ejemplos de montañas "jóvenes" los constituyen los Alpes, los Pirineos y la Sierra Nevada de California. La meseta de Colorado es igualmente joven en su ciclo actual.

Madurez:

a) "Disminuyen notablemente las pendientes de las vertientes", a consecuencia del crecimiento de la erosión vertical de las corrientes, así como de la erosión lateral, lo que motiva el lento ensanchamiento de la llanura aluvial.

b) "Formas redondeadas sustituyen a las formas atrevidas del relieve", como efecto de no haber disminuído la actividad de los agentes de disgregación, mientras que decrece la intensidad de todos los demás agentes, por lo que los detritos, que en la etapa de juventud son removidos casi completamente, permanecen en las pendientes de las vertientes, las cuales se hallan cubiertas por una "capa continua de detritos".

c) "El relieve es moderado", por la disminución de la pendiente de las vertientes, constituyendo las "colinas" el modelo típico del paisaje, las que todavía son elevadas en las regiones montañosas, y muy moderadas en las llanuras.

Este relieve moderado se acentuará antes en las rocas blandas que en las rocas duras, por la "erosión diferencial". De esta manera, las regiones de rocas duras pueden ofrecer aún los caracteres de "juventud", mientras que la región circundante de rocas blandas puede presentar los de "madurez". La disminución del relieve conlleva, en el curso de la "madurez", a una disminución de las diferencias de altura resultantes de la erosión diferencial, encaminándose el relieve hacia la uniformidad.

Senilidad: "penillanura".

a) "Se produce un relieve uniforme y de poca amplitud", por persistir

las formas redondeadas de la madurez, disminuídas más y más por la prosecución de la erosión. Por esta razón, las corrientes fluviales extienden su perfil de equilibrio aguas arriba, lo que, a su vez, hace que la erosión decrezca en actividad, y todo el relieve se debilite y uniformice, con cimas rebajadas exhibiéndose en grandes llanuras aluviales.

b) "el terreno se recubre con un suelo de elementos finos", porque como la madurez, la "senilidad" se desarrolla inicialmente sobre las rocas débiles, terminando por alcanzar a las rocas duras, que son poco a poco reducidas al mismo suave relieve. Como consecuencia, una capa continua de detritos recubre las blandas ondulaciones que constituyen los restos de las colinas de la madurez. Estos detritos, sometidos durante mucho tiempo a los efectos de la disgregación, adquieren un calibre medio, cada vez más fino.

c) Se llega a la "penillanura", es decir, a una superficie apenas ondulada, con pendiente insensible y nivelación casi uniforme de las rocas duras y de las blandas. El relieve y las diferencias de relieve continúan disminuyendo, aunque muy lentamente, hasta convertirse en casi plana la superficie, o sea, en "penillanura". (Figs. 33-I, II, III y IV).

La "penillanura" constituye el límite práctico del ciclo normal de erosión, y del mismo modo que se considera a la horizontal pasando por un nivel de base, como al límite teórico de la evolución normal de una corriente, se puede igualmente admitir que la fase última de un ciclo de erosión normal no es otra que el plano horizontal que pasa por el nivel del mar, considerando a éste como el nivel de base general de la erosión. Es de advertir, que se trata de un concepto exclusivamente teórico, pues una erosión así concebida no puede ser nunca alcanzada en la práctica, ni aún aproximadamente, ya que se necesitaría para ello un lapso durante el cual ninguna porción de la superficie terrestre tuviese probabilidades de sufrir fenómenos perturbadores que interrumpiesen su evolución, lo que resulta imposible.

P. Macar (1946), plantea un interesante problema, que es de máximo interés para el fotogeólogo y para el fotogeomorfólogo, al preguntarse: "¿Cómo distinguir a qué forma inicial —llanura, meseta o montaña— corresponde una "penillanura?". Porque una llanura, una meseta, o una región montañosa, atacadas por la erosión normal, originan en sus comienzos, es decir, en la etapa de juventud, paisajes muy diferentes, no solamente por su relieve, sino también desde el punto de vista de las formas del terreno. En el estado de "madurez", las formas generales del modelado, prácticamente, se han hecho semejantes, si naturalmente, la estructura es la misma, pero el relieve difiere todavía notablemente. Estas diferencias se hacen muy débiles en el estado de "senilidad", para llegar en los tres casos, a una sola y misma forma final: la "penillanura".

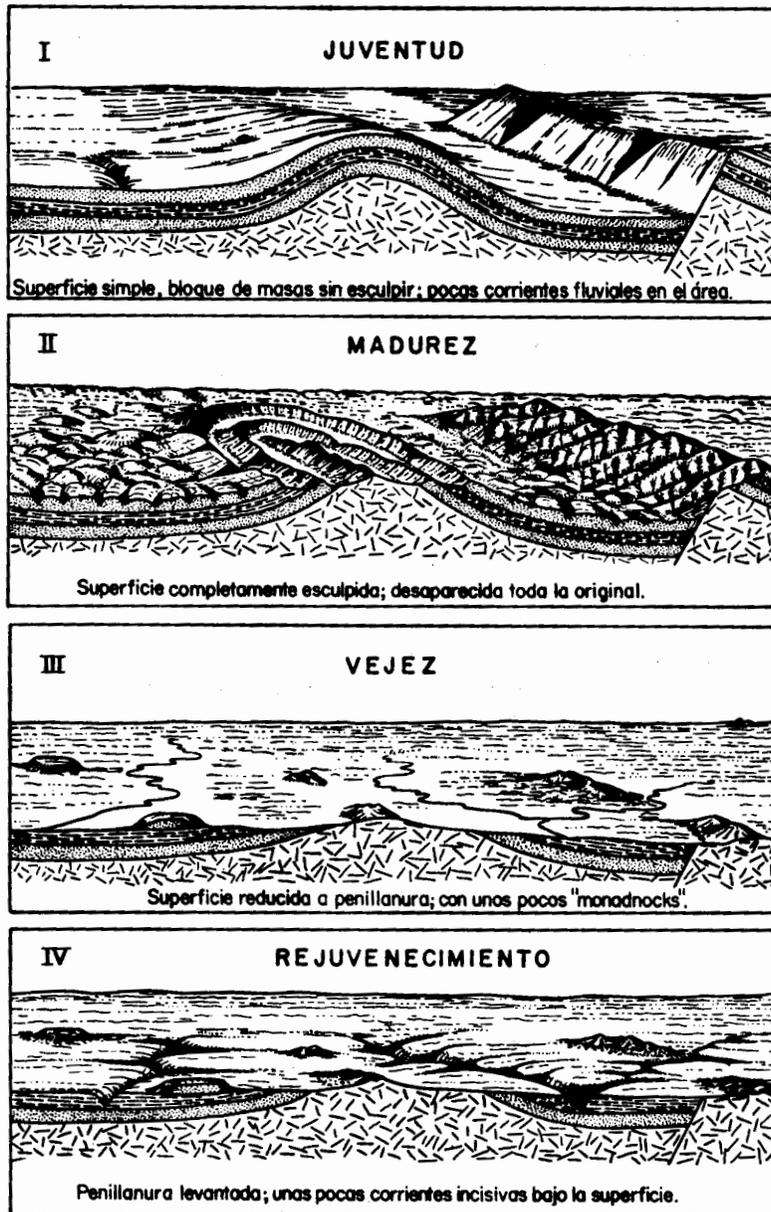


Fig. 33.I-II-III-IV

Etapas en el ciclo de erosión normal o húmedo. (Según A. K. Lobeck).

Pues bien, para precisar a qué forma inicial corresponde la "penillanura", es necesario buscar la clave en la "estructura geológica".

En efecto, una "penillanura" procedente de la abrasión de una "cadena montañosa", nivela rocas plegadas, índice de un movimiento orogénico, mientras que la "llanura" y la "meseta" tienen normalmente un substratum de rocas horizontales o débilmente inclinadas. El grado de "coherencia" de estas capas, puede por otra parte permitir la diferenciación entre "llanura" y "meseta". El débil movimiento epirogénico que ha formado la llanura no abandonará, de ordinario, a la erosión, nada más que rocas de superficie, que son casi todas rocas sin consolidar. La aplanación de una "meseta" permitirá a la erosión, por el contrario, alcanzar por lo general rocas más coherentes, porque proceden de una profundidad mayor. Desde luego, hay que tener presente, que esta identificación no es siempre fácil, puesto que la estructura geológica puede ser más complicada. Por ejemplo, el ataque por la erosión de una meseta puede revelar un substratum de rocas plegadas bajo una delgada cubierta de capas horizontales. En tal caso, se concibe que la desaparición completa de la cubierta convertiría en inoperante la utilización de la estructura geológica para descubrir el origen del relieve. Sin embargo, el estudio de la "sobreposición" muestra que la red hidrográfica conserva rasgos de su origen primitivo, pudiéndose poner así en evidencia la existencia de una cubierta desaparecida, para suplir la falta de datos geológicos directos.

De todo lo anteriormente manifestado con respecto a la "erosión", se desprende la Décima Quinta Regla Fundamental, como sigue:

"LOS AGENTES EROSIVOS ATACAN A LAS ROCAS DE UN MODO SELECTIVO O DIFERENCIAL, SEGUN LOS MATERIALES DE QUE ESTAN CONSTITUIDAS ORIGINANDOSE FORMAS DE EROSION CARACTERISTICAS DE SUS DIVERSOS GRUPOS Y DEL ESTADO DE DESARROLLO DEL CICLO DE EROSION CORRESPONDIENTE, PARA CADA TIPO DE CLIMA; ESTE FENOMENO PERMITE LA IDENTIFICACION DE LAS UNIDADES LITOLOGICAS MAS IMPORTANTES, MEDIANTE EL ESTUDIO EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS, DEL PARTICULAR MODO CON QUE RESPONDEN A LA ACCION EROSIVA".

16.— DRENAJE.

De todos los factores que pueden conducir al análisis de los rasgos

geológicos que registran, tanto las fotografías aéreas como las imágenes espaciales, es el drenaje uno de los de mayor importancia o, posiblemente, el más importante de todos. Por ello, D. R. Lueder (1959), dice que "con excepción de las formas terrestres, la configuración del drenaje superficial es, probablemente, la más segura guía de las condiciones del terreno, de que dispone el intérprete fotógrafo".

El examen de la ordenación o arreglo del escurrimiento sirve siempre de punto de partida para el análisis de los rasgos naturales reflejados por sus imágenes en las fotografías aéreas y en las imágenes espaciales, y su universalidad, o sea, su distribución sobre la casi totalidad de la superficie terrestre, permite disponer de una base cartográfica natural, a modo de fondo topográfico común, sobre el que transportar los datos facilitados por el examen analítico fotogeológico.

Por otra parte, la simple consideración de la configuración o sistema de drenaje, permite verificar valiosas observaciones, desde cualquier punto de vista que se considere en el análisis, ya sea este el geológico o el geográfico, el edafológico o el forestal, etc., por lo que resulta imperativo el verificar "a priori" el estudio de la red hidrográfica, como paso previo para entrar en los estudios específicos, muchas de cuyas conclusiones ya quedan predeterminadas por aquél. La misma ausencia de drenaje, en el caso de producirse, constituye un importante dato que autoriza la formulación de conclusiones bien definidas y, a veces, definitivas.

El "drenaje", es decir, "la manera en que un área dispone del agua que escurre sobre ella", según definición de R. R. Hartmam y K. N. Isaacs (1958), se encuentra íntima y muy especialmente relacionado, con el otro elemento fisiográfico y geomorfológico de extraordinaria importancia también, que se acaba de describir: la "erosión". Y, a su vez, ambos factores analíticos se encuentran estrechamente unidos a la naturaleza de las rocas que, respectivamente erosionan y drenan.

Ciertamente, existe una relación tan estrecha entre "erosión" y "drenaje", que ha permitido a H. F. von Bandat (1962), calificar indistintamente a la "configuración del drenaje" como "diseño de erosión", porque ambos términos pueden ser considerados como sinónimos.

No obstante esto, y habida cuenta de que entre el "drenaje" y la "erosión" puede precisarse una marcada, aunque compleja relación de causa a efecto, en la que influyen multitud de circunstancias —todas ellas muy variables, como el clima y la constitución física y química de las rocas mismas— se hace posible identificar la "causa" con la "erosión". Pero, como lo que se analiza son los resultados, gráficamente recogidos en las fotografías aéreas y en las imágenes espaciales, mediante imágenes concretas, y no directamente los fenómenos que los producen, resulta obligado invertir los términos, y considerar al "drenaje" como a la herra-

mienta que esculpe, y a la "erosión", inmovilizada en su imagen fotográfica, como el producto esculpido, o "efecto".

Por ello, y aunque ambos factores analíticos se complementan mutuamente, lo que exige sean tratados conjuntamente, ya que se encuentran estrechamente enlazados, como apuntado queda, tanto por sus comunes expresiones fotográficas, como por su también común significado en la interpretación, para mayor claridad expositiva y, dado que ciertas condiciones son privativas del "drenaje", mientras que otras lo son de la "erosión", se analizan separadamente ambas claves.

La importancia decisiva del "drenaje", como indicador directo y fidedigno de las condiciones del terreno, se deriva precisamente del hecho de estar determinado y condicionado por los factores físicos naturales, entre los que destaca el ya mencionado del clima, además de los constituidos por la vegetación, el suelo, y las rocas, y entre estas últimas, por los derivados de su composición química o mineralógica y de su textura física, su estructura geológica, su tectónica o grado de fracturamiento, su posición topográfica, etc.

Resulta evidente considerar que el **escurrimiento** dentro de un clima dado se comportará de una manera específica cuando se produzca sobre rocas de condiciones naturales uniformes y, que en tal caso, el escurrimiento adoptará configuraciones típicas para cada clase de rocas. Esta forma o disposición característica variará, llegado el caso, en la medida en que se modifiquen una o varias de tales condiciones naturales.

De esta manera, la presencia de un sistema de drenaje con configuración uniforme revelará, sobre el área en que se desarrolle, la existencia de un material también uniforme, por lo que se refiere a su textura, composición, etc., mientras que la ausencia de tal uniformidad en el sistema de drenaje denotará la presencia de materiales heterogéneos y de condiciones físicas distintas en las diferentes zonas en que dicha diversificación se manifieste. Esta correlación tan importante entre la configuración del drenaje, por una parte —a través de su textura, densidad y otros elementos— y los agentes físicos que, directa o indirectamente operan sobre la superficie terrestre y sobre los materiales que la constituyen, por otra, permite verificar la identificación y localización de las áreas que tengan entre sí semejanzas o diferencias significativas, mediante su delimitación en las imágenes aéreas o espaciales, por el simple análisis de su drenaje y, a su vez, correlacionarlas. Se identifican y correlacionan así las diferentes características del drenaje, con los fenómenos y materiales que le son concomitantes.

Aún de más trascendental importancia que la correlación precitada, resulta la doble facultad que tiene el drenaje, de poner en evidencia determinadas estructuras geológicas a las cuales se acomoda, así como cier-

tos accidentes tectónicos a los que muchas veces se adapta en su configuración superficial. Estas facultades del drenaje adquieren superlativa valoración cuando se trata de rasgos tectónicos o estructurales que no se reflejan directamente en la superficie y, por lo tanto, solamente son registrables mediante el análisis del drenaje en las fotografías aéreas, gracias al hecho de permitir estos documentos la localización de muchos de dichos rasgos, imposibles de percibir ni en el propio terreno.

Esta supervaloración de la importancia extraordinaria del drenaje, como factor analítico fotogeológico, resulta evidente si se considera que, si bien la correlación entre el drenaje y las condiciones geológicas de la superficie terrestre puede verificarse, no sobre el terreno mismo solamente, sino sobre mapas topográficos convencionales que contengan un determinado grado de detalle y de exactitud, es solo utilizando fotografías aéreas verticales como se puede llegar al logro del deseado fruto, ya que mediante el empleo separado y conjunto de todas las claves fotogeológicas en el examen de las imágenes fotográficas, es como resulta únicamente posible identificar todos y hasta el menor de los rasgos.

Además, su valor se acentúa por la posibilidad, tantas veces señalada, de permitir el registro de rasgos que no pueden percibirse ni aún caminando sobre ellos y que, en consecuencia, ni figuran, ni podrían figurar en los correspondientes mapas, ni tampoco existen de hecho para cualquier otro método de exploración superficial.

Principales elementos físicos determinantes de la configuración del drenaje.

Independientemente de la determinante más general, constituida por las condiciones climáticas, se pueden distinguir como lo hace B. A. Tator (1954), los tres siguientes principales factores controladores del drenaje: a) litología; b) estructura; y, c) zonas y líneas de debilidad.

a) Control litológico.

Las variaciones en la resistencia de las rocas originan un marcado ajuste del tipo de drenaje a la litología. "Los estratos más débiles (lutitas y margas en la costa del golfo de México, S de Alabama y W de Florida) —manifiesta el autor citado— se erosionan y dan lugar a amplias fajas de tierras bajas que se localizan paralelas a "cuestas" poco prominentes, formadas por estratos arenosos más resistentes. Aunque la topografía pierde expresión hacia la costa, un examen detenido de las fotografías aéreas, revela las líneas de control litológico del drenaje, que persiste en el sentido del rumbo. Del mismo modo, el control en el sentido del buzamiento se ejerce en algunos segmentos del drenaje facilitando, con la ayuda del rumbo, un medio para registrar localmente elementos estruc-

turales en áreas de afloramientos pobremente manifestados. Las variaciones locales en el rumbo se acentúan por el proceso de desviaciones o cambios homoclinales de las líneas de drenaje. La migración, echado abajo, de las pendientes obsecuentes,* se produce a medida que la superficie del paisaje descende. Los valles de rumbo ocupados por los segmentos de drenaje, se ensanchan por este medio, y los tributarios fluyen echado abajo, alargándose en el sentido del buzamiento" (Fig. 34).

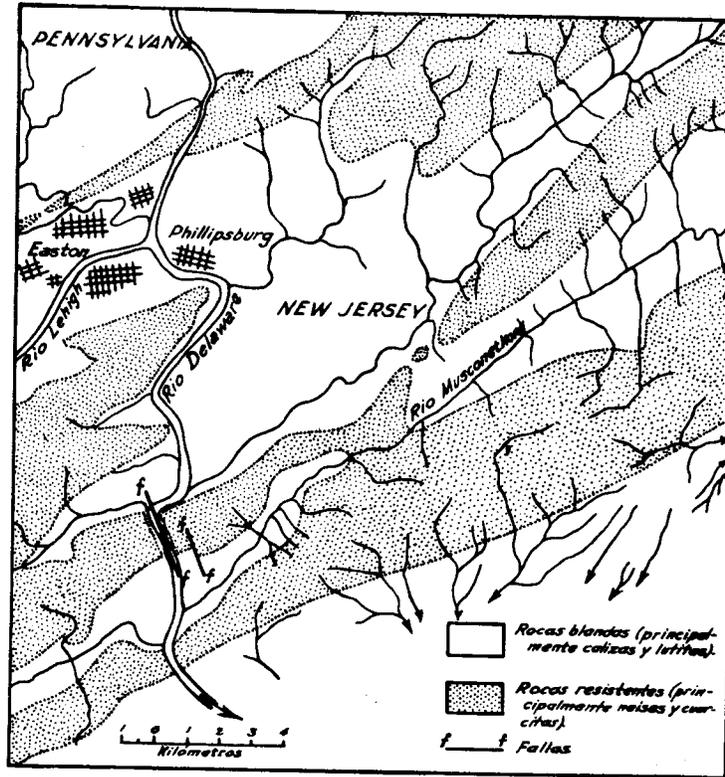


Figura 34

Bosquejo geológico del área de Easton, Pennsylvania, mostrando la configuración del drenaje bien ajustado a las rocas débiles. Como el neis y la cuarcita resisten, no solamente la erosión fluvial sino también el desplazamiento de los detritos, por gravedad, sobresalen entre las áreas de rocas débiles, como crestas de unos 150 metros de altura. (Según W.S. Bailey).

* Ver, más adelante, la clasificación genésica de las corrientes fluviales.

Es así como los estudios estratigráficos se encuentran muy ayudados por la observación de las características de los valles y canales. El examen detenido de éstos revela que los cambios en la "litología" producen variaciones sensibles en los depósitos de los canales. Por ejemplo, el lodo fino que forma el depósito de un segmento de canal es frecuentemente sustituido por material arenoso en otro segmento adyacente de la corriente. En muchos casos se produce tal sustitución al traspasarse los contactos litológicos, aunque también puede deberse a afallamiento. Aproximadamente, las fronteras litológicas pueden determinarse también por variaciones en la anchura de los valles y por cambios en la regularidad o irregularidad del tipo de drenaje. En muchos casos, la súbita aparición o desaparición de un tipo de meandros, revela el control litológico. Del mismo modo, segmentos trenzados de drenaje constituyen una indicación clara de cambios litológicos. El tono y los contrastes de vegetación, complementan tales características del drenaje en la determinación de diferencias litológicas. Para este tipo de reconocimiento, las fotografías aéreas y la verificación subsiguiente en el campo, de los datos por ella manifestados, constituyen el único medio adecuado.

b) Control estructural.

Las relaciones entre el drenaje y la estructura geológica ya fueron perfectamente establecidas desde 1932, por E. R. Zernitz. Con relación a ello, B. A. Tator (1954), sostiene que "el uso de la red de drenaje como clave de la estructura geológica dependerá, en gran medida, del conocimiento que el intérprete tenga de las "probabilidades estructurales de la región". En la red del drenaje se reflejan, tanto las influencias estructurales pasivas, como las activas, o en actual desenvolvimiento. Pequeñas variaciones en la dirección y en la magnitud del echado revelan probables zonas afalladas o intrusiones dómicas salinas. Es muy grande la "sensibilidad" del drenaje a la dirección del rumbo y buzamiento, atribuible, bien a intrusiones salinas, a inclinaciones por causa de afallamiento, o bien a sistemas de amplias y suaves combaduras".

Por otra parte, "la inclinación de bloques rocosos de dimensiones regionales origina determinadas direcciones del drenaje, que son anómalas con respecto al buzamiento regional. La amplitud de visión facilitada por las fotografías aéreas y, en mucho mayor grado, por las imágenes espaciales, muestran tales áreas inclinadas a la atenta observación del intérprete. Dentro de las áreas de diversión de la dirección del drenaje regional se encuentran segmentos de drenaje que conservan elementos de la dirección del flujo anteriores al basculamiento. El descubrimiento de grandes zonas de afallamiento revela la localización de las áreas a lo largo de las cuales han ocurrido los movimientos que inclinaron los bloques.

Igualmente, el escrutinio del tipo de drenaje hace posible la localización de relieves estructurales bajos y abiertos, en cuyo caso, y una vez más, las variaciones en la dirección del buzamiento son puestas en evidencia por las corrientes fluviales controladas por el rumbo y buzamiento de las rocas. (Figs. 35-A y B; Figs. 36-A, B y C).

“Hay considerable evidencia para garantizar la conclusión —dice sobre este particular F. A. Melton (1956), uno de los investigadores que más se han destacado en esta técnica fotogeológica, desde sus comienzos— de que gran parte del drenaje de las más amplias áreas continentales del

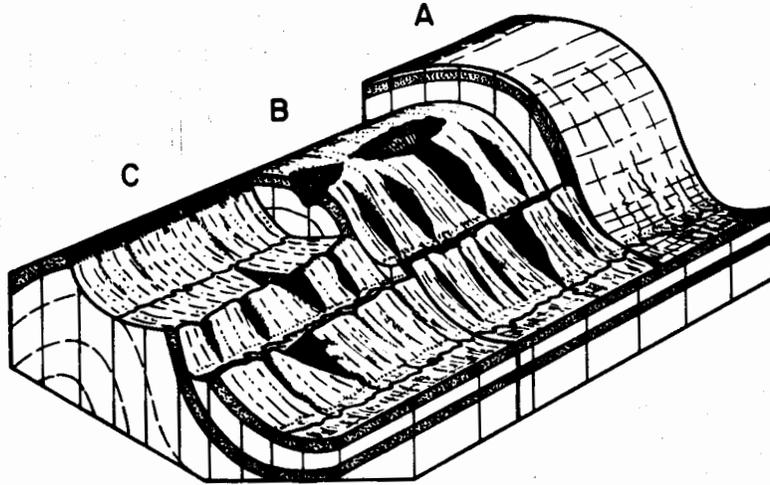


Figura 35-A

La figura representa un arco anticlinal y una depresión sinclinal con dos estratos de rocas resistentes que están comenzando a erosionarse mientras las formaciones débiles son arrasadas. Las corrientes “consecuentes” de la forma inicial (bloque A) son, un río que sigue un curso longitudinal en la fosa y un número de pequeños tributarios que bajan por el flanco del arco. En la etapa representada por el bloque B, las formaciones más resistentes han sido cortadas, desarrollándose un valle “subsecuente” sobre el débil estrato subyacente. Algunas de las corrientes han cortado también a través de la segunda formación resistente. El bloque C, representa un desarrollo más completo del drenaje “subsecuente”, al formar crestas subsecuentes de rumbo los afloramientos de ambos estratos resistentes. (Según C. A. Cotton).

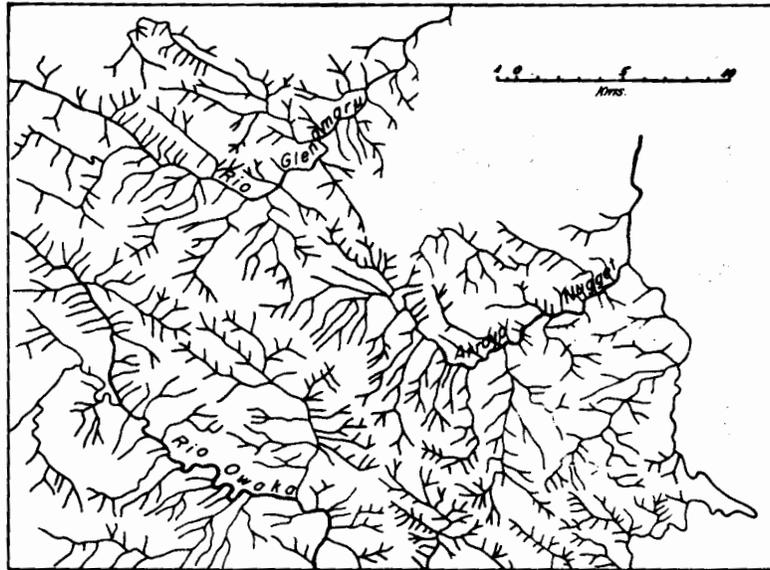


Figura 35-B

Mapa mostrando el ajustamiento del drenaje a la estructura, cerca de la punta Nugget, Otago, Nueva Zelanda. Se observa un notorio desarrollo de crestas y valles "subsecuentes", ajustados al rumbo noroeste de estratos de pronunciado buzamiento. (Según C. A. Cotton).

mundo (probablemente entre el 25 y el 75 por 100 del mismo), se encuentra controlado estructuralmente. Por el control estructural del drenaje, los geólogos comprueban que la configuración del drenaje refleja los rasgos estructurales, así como los afloramientos de las rocas resistentes, encima y debajo de las formaciones no resistentes, el buzamiento y rumbo de dichas formaciones, la presencia de fallas, diaclasas, y otros rasgos locales.

B. A. Tator (1954) opina que, "aunque a veces son oscuras las relaciones entre el drenaje y la estructura rocosa, en regiones de rocas blandas o sin consolidar, no ofrece dificultades su interpretación en áreas de rocas duras o consolidadas. Entre las primeras, cita el caso de las llanuras costeras, donde las rocas, por lo general, están sin consolidar, tienen poca diferenciación litológica y exhiben un buzamiento regional bajo". En tales casos "los problemas interpretativos los originan, por otra parte, el escaso relieve (expresión topográfica limitada), y la influencia enmascaradora de los depósitos superficiales".

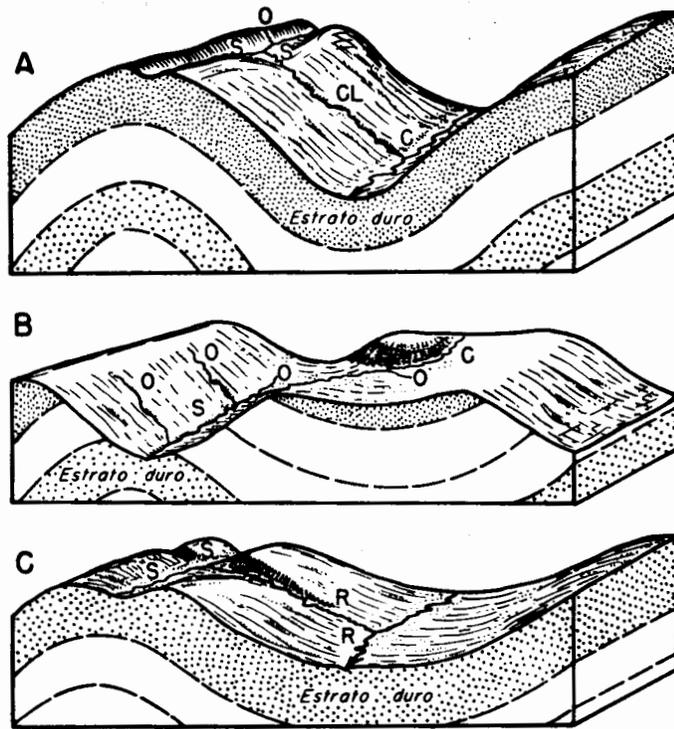


Figura 36-A, B, C

Desarrollo de relieve invertido y posteriormente de drenaje "resecante", sobre un área de rocas plegadas. (Según C. A. Cotton).

Según el mismo autor, es por dicha razón por lo que el análisis del drenaje mediante fotografías aéreas ofrece las máximas ventajas "en las regiones cubiertas por depósitos sin consolidar, donde los métodos normales del geólogo rinden poco. La experiencia demuestra que la interpretación de las fotografías aéreas facilita un medio de exploración en áreas, donde con demasiada frecuencia, resulta virtualmente imposible percibir los datos necesarios para el estudio del terreno". H. N. Fisk (1944), en Luisiana; R. O. Vernon (1951), en Florida; y D. C. Barton (1933 y 1940) y C. de Blieux (1949), en Texas, "han demostrado que la interpretación de la red del drenaje y de otros datos superficiales, tal y como se presentan en las fotografías aéreas, facilitan suficiente detalle para registrar las estructuras geológicas".

c) Control por zonas y líneas de debilidad.

Para F. A. Melton (1954) "las alineaciones largas y rectas de las corrientes fluviales deberían llamar la atención de los geólogos". Muy comunes en las regiones llanas del globo, según la opinión de dicho autor, "son efecto del intemperismo y de la erosión a lo largo de zonas de diaclasas que se exhiben superficialmente, causadas por fallas que se localizan en las rocas profundas del basamento". "Estas alineaciones que, probablemente se deben a afallamientos profundos, son más fácilmente perceptibles en muchos respectos, en las fotografías aéreas, que las fallas en rocas aflorantes, donde dichas rocas carecen de resistencia al intemperismo y a la erosión. Sin embargo, ambas clases de influencias pueden mostrarse en el mismo lugar, expresándose con diferentes aspectos en la configuración del drenaje".

Con relación a este tema, B. A. Tator (1954), manifiesta que "las líneas de drenaje se ajustan a las de debilidad de las rocas. En realidad, el afallamiento se produce en áreas de debilidad, a veces muy antiguas, de la corteza terrestre, y en las líneas de afallamiento se acomoda el drenaje. De este modo, las líneas de drenaje sirven para descubrir las zonas de debilidad (de afallamiento). Estas alineaciones del drenaje son localizables en las áreas inter-fluviales, en forma de alineaciones de sumideros o de combas topográficas, o por contrastes de suelos y de vegetación y, en algunos casos, por fallas o por escarpas de línea de falla. Contribuyen a la interpretación inflexiones anómalas de los canales, segmentos de valles con cuerpos líquidos, lagunas, etc., y canales excesivamente arenosos".

Así, "las líneas de drenaje ofrecen con frecuencia valiosa información con relación a las fallas, a su relativo tiempo de origen y a la dirección del movimiento. Mediante el estudio de un canal fluvial existente, y de las micro-formas relacionadas (canales abandonados), en la vecindad de la falla, se puede fechar ésta, con respecto a otros cambios estructurales, tales como plegamientos.

Es necesario advertir, que las tres clases mencionadas de control del drenaje —litológico, estructural y por afallamiento— se combinan entre sí, de manera que se manifiestan conjuntamente, aunque una de ellas suele ser predominante, o faltar alguna, como ocurre con el control estructural y el litológico, principalmente. (Fig. 37).

Principales criterios utilizado en el análisis de la configuración del drenaje.

Para el análisis de todos los elementos geológicos que el drenaje y sus diversas configuraciones ponen en evidencia, se han clasificado los siste-

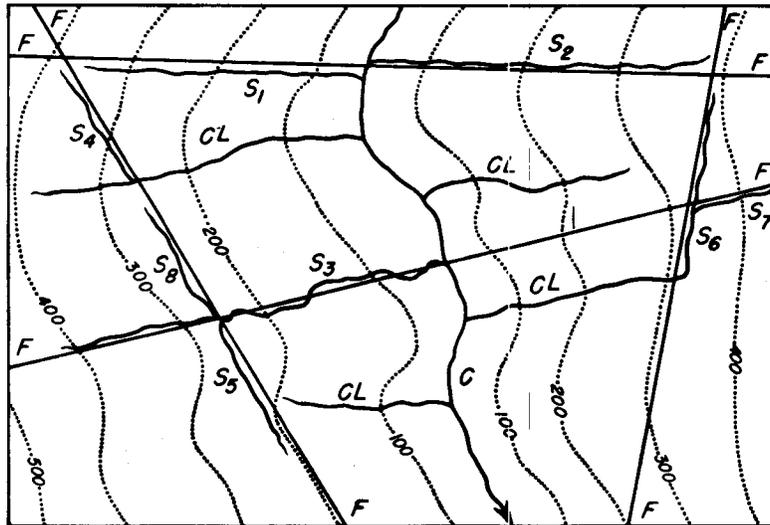


Figura 37

Desarrollo del drenaje sobre rocas afalladas. (Según B. W. Sparks).

mas típicos de estas configuraciones con diversos criterios y, al mismo tiempo, se han relacionado estos sistemas de configuración, con los de la clasificación genésica del drenaje, por la íntima dependencia existente entre la génesis del drenaje y sus sistemas de configuración. Finalmente se han determinado otros factores, como la "textura" y la "densidad" del drenaje, como sigue:

- a) Análisis individual del drenaje.
- b) Clasificación genésica del drenaje.
- c) Clasificación sistemática de las configuraciones del drenaje.
- d) Análisis de la configuración regional del drenaje.
- e) Textura del drenaje.
- f) Densidad del drenaje.
- g) Homogeneidad o uniformidad del drenaje.
- h) Grado de integración del drenaje.

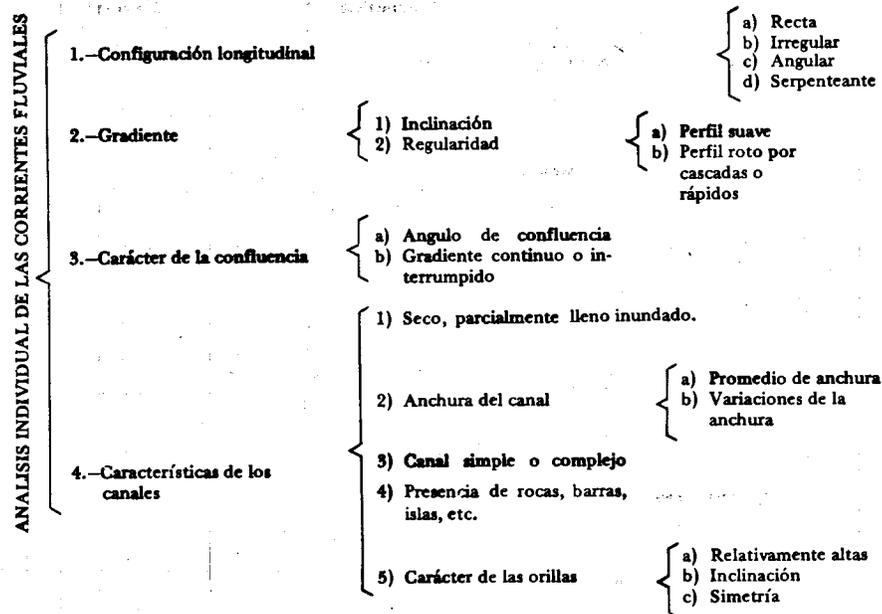
a) *Análisis individual del drenaje.*

Los principales tipos de las corrientes fluviales, consideradas indivi-

dualmente, son —según W. D. Thornbury (1954)— los ocho siguientes: recto, curvo, retorcido, sinuoso o serpenteante, anastomosado, rectangular, trenzado, y deltaico o distributario.

Con relación al primer tipo, cabe decir que las corrientes fluviales son raramente “rectas” a lo largo de distancias relativamente largas, pero cuando se registra este caso, denota la existencia de control estructural en el sector o segmento correspondiente, o bien la iniciación de pendientes abruptas en rocas homogéneas, a lo largo de la sección o tramo rectilíneo. En el tipo “curvo” se pueden distinguir varios grados de curvatura, desde amplia y abierta hasta estrecha y cerrada, por ejemplo, y lo mismo puede decirse cuando se trata de meandros “retorcidos” o “sinuosos”. El tipo “anastomosado” suele producirse por la superposición de canales intercomunicantes tortuosos, en áreas de lagunas pantanosas y de meandros fósiles.

CUADRO 3

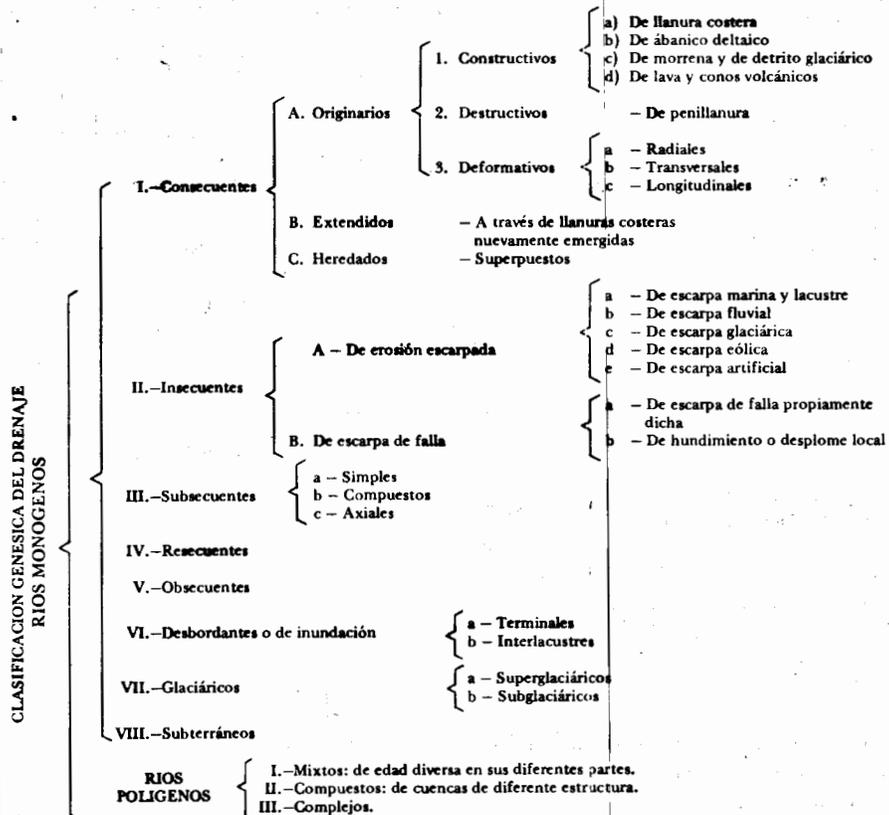


La configuración “recta” o “rectilínea” revela, además, el acomodamiento de las corrientes fluviales a accidentes tectónicos, como ya queda dicho anteriormente, tal como sucede cuando los tributarios conflu-

yen con los troncales en ángulo más o menos recto, especialmente cuando la confluencia se verifica por ambos lados, a la vez, de la corriente principal o, más evidentemente aún, cuando confluyen en ésta transversalmente, de forma que el tributario de un lado lo haga en ángulo agudo, y el del otro lado lo haga en ángulo obtuso, por hallarse ambos tributarios opuestos, acomodados a la misma fractura, que cruza diagonalmente la corriente maestra (Fig. 37).

Para el análisis individual de las corrientes fluviales es necesario un conjunto de datos que resuman las principales características de las mismas, bien entendido que cualquiera de ellos puede dar la clave para la solución de un importante problema de identificación o influir en el análisis de la configuración colectiva del drenaje. Según H. T. U. Smith (1943), estos datos son los siguientes:

CUADRO 4



b) *Clasificación genésica del drenaje.*

La clasificación genésica original del drenaje se debe al ilustre geógrafo y geólogo, fundador de la escuela norteamericana de geomorfología, William Morris Davis (1889, 1890, 1897), quien la fue gradualmente desarrollando en una serie de clásicos ensayos de la literatura fisiográfica y geomorfológica. La importancia de esta clasificación se deriva del hecho de constituir la clave para la identificación de las estructuras geológicas y de la naturaleza del área a que el drenaje corresponda y, al mismo tiempo, revelar la etapa del ciclo fisiográfico en que se encuentre dicha área. Además, sirve de base para la clasificación sistemática de las configuraciones del drenaje, con la que está íntimamente relacionada la clasificación genésica.

“En la clasificación genésica de los ríos —dice A. W. Grabau (1932), a quien se debe uno de los más completos estudios al respecto— debe reconocerse que se consideran dos cosas diferentes: los “ríos” propiamente dichos, y sus “cuencas de drenaje”. Un tipo simple de río puede darse, en efecto, sobre una cuenca de drenaje complicado; y, también puede darse lo contrario, es decir, un río complicado sobre una cuenca de drenaje de estructura simple”.

En consecuencia, dicho autor clasifica los ríos, con referencia a su origen, en “simples” o “monógenos” y en “complicados” o “polígenos”. Los “monógenos”, ya sea por captura, crecimiento, o por accidentes causados por agentes extraños, suelen convertirse en “polígenos” o “poligenéticos”, casi siempre.

La terminología empleada para designar las diversas clases de corrientes fluviales atendiendo a su origen, lleva consigo el significado de su particular naturaleza en cada caso, con relación a su desarrollo geomorfológico. De este modo y, como dice B. W. Sparks (1960), “cuando se aplique el término “consecuente”, significa que es conocida la forma inicial de la superficie, implicando lo mismo el término “resecuente”. “Subsecuente” simplemente significa que la corriente fué generada por una línea de debilidad geológica, generalmente observable en un mapa geológico o en el campo, por lo que dicha denominación puede ser usada más fácilmente que las otras dos. Sin embargo, puede haber corrientes que fluyan en la misma dirección que las “consecuentes” verdaderas, sin existir debilidad geológica aparente. En tales casos, el término no debería usarse hasta quedar demostrada la debilidad”.

La clasificación genésica de los ríos de A. W. Grabau (1932), modificada en parte por la de O. D. von Engeln (1949), es como sigue (véase Cuadro 4):

Ríos monógenos.

I — Ríos consecuentes.

Entre los ríos "monógenos", son "consecuentes" las corrientes fluviales que inician su existencia sobre la superficie de una tierra nueva, la cual puede ser "joven" o "rejuvenecida", pero para lo que al río respecta, es "nueva". Su modo de gestarse puede ser por "origen", por "extensión", y por "herencia". Se llaman "consecuentes", porque existen y fluyen "en consecuencia con las desigualdades originales de la superficie del terreno", como ocurre, por ejemplo, con las corrientes iniciales que se desarrollan sobre una llanura costera recientemente emergida, cuyos cursos fluviales se hallan en consecuencia con la pendiente originaria, que se inclina hacia el mar. A. H. Fay (1920), las define como "aquéllas que tienen un curso o dirección dependiente de, o controlado por la estructura geológica, o por la forma o pendiente de la superficie", y Leet y Judson (1958), como "las corrientes que siguen un curso que es directa consecuencia de la pendiente original de la superficie sobre la que se desarrollan".

P. Macar (1946), llama a los "consecuentes", "ríos primitivos", es decir, a los primeros ríos que se forman, siguiendo esencialmente las pendientes iniciales. "Se guían, aquí y allá —dice— en su formación como en su alojamiento, por las irregularidades locales de estas pendientes iniciales, más su dirección continúa siendo, "grosso modo", la de la pendiente misma. Tales cursos de agua reflejan la orientación de la pendiente sobre la cual se han originado".

En el caso de una región que emerge, las pendientes suelen ser, en conjunto, muy regulares, y lo mismo ocurre con el perfil de los ríos "primitivos". "Por el contrario, cuando una región se ve libre del casquete de hielo, el relieve dejado por la erosión y los depósitos glaciáricos, es muy vario, y los ríos "primitivos" o "consecuentes" que en ella se forman, se caracterizarán por caídas y rápidos correspondientes a fuertes pendientes locales, como ocurre en Finlandia y en el Canadá oriental, donde subsiste el drenaje, sin modificarse, desde la retirada glaciárica (P. Macar, 1946). Por su parte A. Holmes (1951), denomina "consecuentes" a las corrientes que se originan "allí donde las tierras de reciente emergencia procuran una salida hacia el mar, y corren por tales pendientes y por los valles en ellas excavados".

La palabra "consecuente" se deriva de la voz latina "consequi", que significa "seguir después de otra cosa, fenómeno o acontecimiento".

La principal clase de ríos "consecuentes", es la denominada "consecuentes originarios" u "originados de nuevo", los cuales se dividen, a su

vez, en "principales" y "tributarios", siendo los primeros los que llegan al mar, en el que desembocan, o bien reciben directamente la descarga de la cuenca y, los segundos, los que son tributarios de otros consecuentes, que pueden ser o no, principales. En términos generales, los "ríos consecuentes principales", de A. W. Grabau (1932), corresponden a los "consecuentes maestros" de O. D. von Engel (1949), del mismo modo que los "consecuentes tributarios" del primero de dichos autores, corresponden a los "consecuentes secundarios" del segundo. Según éste, "los consecuentes maestros son aquéllos que se desarrollan en una llanura costera, siguiendo las ligeras desigualdades iniciales de su superficie y que, aunque tienen un área limitada de drenaje, son los más largos, mientras que los consecuentes secundarios confluyen con los anteriores en las llanuras costeras, en ángulo muy marcado, y son de escaso desarrollo".

Las corrientes "consecuentes originarias", de acuerdo con el tipo de terreno sobre que se desarrollan, pueden ser "constructivas", "destructivas", o "deformativas".

Las corrientes "consecuentes constructivas", que como su nombre indica, se producen en superficies de dicha clase, se subdividen, a su vez, en "consecuentes constructivas de llanura costera", o sea, las que se originan en una llanura costera de nueva emergencia, bien a consecuencia de movimientos epirogenéticos de la tierra, o bien de movimientos negativos eustáticos del mar, o bien, en fin, por drenaje de una cuenca elevada"; en "consecuentes constructivas de abanico deltaico", es decir, las que se desarrollan en deltas secos de otras corrientes o en tierras deslizadas; en "consecuentes constructivas de morrena y de detrito glaciárico", o que nacen en la superficie inclinada de deposición de detritos de los glaciares; y, en "consecuentes constructivas de lavas y conos volcánicos", originadas sobre las pendientes de los volcanes o de los flujos de lava.

Las corrientes "consecuentes destructivas" tienen lugar sobre superficies de destrucción y están principalmente representadas por las corrientes "consecuentes destructivas de penillanura", tales como las que se originan sobre una penillanura levantada y ligeramente inclinada, o en una llanura de denudación subaérea.

Las corrientes fluviales "consecuentes deformativas", son aquéllas que se producen en una superficie deformada o de deformación, e incluyen diversas clases, como las originadas sobre un simple domo, o sobre series de plegamientos anticlinales y sinclinales, así como las que se desarrollan sobre bloques inclinados afallados. En el caso del domo, se producen "consecuentes deformativas radiales"; en el de los anticlinales "consecuentes deformativas transversales", que fluyen hacia los bordes de la estructura; y, en el de los sinclinales, "consecuentes deformativas longitudinales", que fluyen en el interior y a lo largo de los mismos.

Los ríos “consecuentes extendidos”, que constituyen el segundo gran grupo de los “consecuentes”, son corrientes de tipo más viejo, pero que se extienden a través de llanuras costeras nuevamente emergidas. Estas corrientes no se diferencian de las de tipo “originario” u originadas de nuevo en las llanuras costeras, salvo por su mayor volumen de agua y por su, naturalmente, mayor poder erosivo. “Cortan, dice A. W. Grabau (1932), más profundamente que las otras y se convierten en las corrientes maestras de sus respectivas regiones, dirigiendo en gran medida el desarrollo subsiguiente del sistema de drenaje”. O. D. von Engeln (1949), dice que, son “consecuentes extendidos” de la llanura costera los que tienen sus fuentes en la “tierra antigua”, sus cursos se extienden como “consecuentes”, por los cauces de la antigua masa de tierra, y tienden a ser “consecuentes maestros”. Esta parte más antigua de la corriente, que constituye precisamente la extensión, puede ser “simple” o “compleja”, “monógena” o “polígena”. Pueden entrar dentro de la clasificación de “consecuentes extendidas”, las corrientes que se extienden a través de una llanura de deposición glaciárica, como “consecuentes originarias constructivas”.

Los ríos “consecuentes heredados”, son consecuentes superpuestos sobre un terreno complejo, que fluyen en una llanura costera bajo la que subyacen rocas complejas también, que controlan el curso del río. La generalización de este concepto de “sobreposición” o “superposición” universal del drenaje, la subraya F. A. Melton (1952), por estimarla de gran importancia y validez, sobre todo en las regiones llanas. “La generalización —añade— puede probablemente ser igualmente correcta en las regiones montañosas y de mesetas, aunque en éstas puede hallarse complicada por el concepto de “antecedencia” (Fig. 38), al producirse la elevación

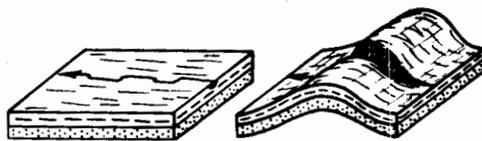


Figura 38

Antecedencia.

(Según M. Derruau, modificado).

* La parte de la masa terrestre que emergía sobre el nivel del mar, mientras los materiales de la llanura costera eran depositados en sus aguas.

de las cadenas montañosas mientras la erosión se halla también en progreso. Al concepto de la universal “sobreposición” de las corrientes fluviales, debe hacerse la excepción de determinados fenómenos locales y más o menos comunes, como el drenaje en el “mal país”, en las corrientes “deltaicas”, en las de los “volcanes” y “flujos de lava”, en las llanuras de “dunas” de arena y de detritos glaciáricos, etc. En tales casos, no pueden ser consideradas las corrientes como “sobrepuestas”, desde luego, aunque puedan encontrarse actualmente en proceso de “sobreposición”. En cambio, en las “penillanuras”, muy comunes en las tierras llanas del mundo, sí se puede producir la sobreposición, puesto que las mejores oportunidades para ello, en forma regional, se producen durante el desarrollo y levantamiento de una penillanura” (Fig. 39)

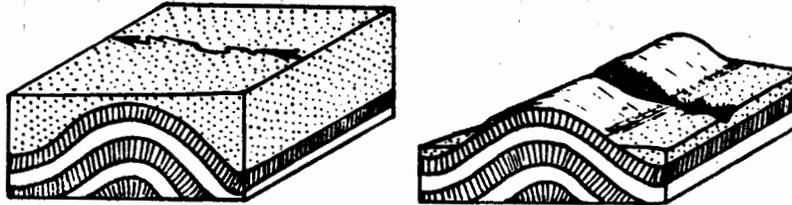


Figura 39

Sobreposición del drenaje. (Según M. Derruau).

“En muchas regiones —manifiesta A. Holmes (1951), sobre este particular— se hallan al descubierto rocas plegadas antiguas, que anteriormente estuvieron ocultas debajo de una cubierta discordante de formaciones sedimentarias posteriores. Los ríos iniciados en la cubierta, con una red apropiada a su estructura, acaban por excavar sus valles en las rocas subyacentes, manteniendo su cauce con escasa o ninguna relación sobre las estructuras bastante diferentes en que se encuentran. Como la cubierta es gradualmente eliminada por denudación, las rocas más antiguas van quedando al descubierto en una zona cada vez más extensa, cuya red fluvial se ha llamado “superpuesta” o “epigénica”, por haber sido grabada sobre dicha superficie anterior, como “herencia” de la cubierta desaparecida”. Por esto —añade F. J. Monkhouse (1959)— “a veces, un sistema actual puede aparecer como independiente de la estructura superficial, por haberse desarrollado originariamente sobre la superficie de rocas ahora removidas, drenaje que se llama “superpuesto”.

Los ríos “consecuentes” se distinguen de los “insecuentes”, por el hecho ya indicado, de que los primeros fluyen en el sentido de la inclinación de la superficie, es decir, principalmente pendiente abajo, mientras los segundos no siguen pauta alguna; de los ríos “desbordados” o de “inundación”, por no tener en sus cabeceras abastecimiento almacenado en un lago, por ejemplo; o procedente de la fusión de un glaciar, como en los “glaciáricos”; o, bajo la superficie, como en los ríos “subterráneos”.

II – Ríos insecuentes.

Los ríos “insecuentes” —segundo gran grupo de los “monógenos”— se denominan así por seguir cursos “gobernados por oscuros factores o por el azar, que no se relacionan con ninguna circunstancia conocida”. (O. D. von Engeln, 1949). La palabra “insecuente” equivale a la de “inconsecuente”, es decir, que “no es consecuente”, o que no tiene consecuencia en su curso, y se emplea por oposición a la de “consecuente”. Viktor Leinz y Josué Camargo Mendes (1951), califican de “inconsecuentes” a “los ríos cuyos cursos huyen al control de cualquiera de las circunstancias conocidas y, ni son gobernados por la estructura de las rocas, ni corren a favor de la inclinación de las capas”. “La palabra “insecuente”, aplicada a un río —comenta a este respecto Von Engeln (1949)— es simplemente la confesión de la incapacidad de determinar las condiciones de su existencia”.

Para Dake, C. L. y Brown J. S. (1925), las corrientes “insecuentes” se originan en terrenos cubiertos por rocas alternantes duras y blandas, de escaso buzamiento, en cuyo caso, y por cubrir una sola formación extensas áreas, la pendiente que se inclina hacia el mar es casi igual a la pendiente inicial del terreno. Por ello, las corrientes tributarias, al desarrollarse, no encuentran en su camino diferencias notables de dureza, ramificándose en todas direcciones de modo igual y con pendiente suave. Las corrientes “insecuentes”, cuya principal forma de desarrollarse es aguas arriba, en vez de aguas abajo, como las “consecuentes”, según queda dicho, son a veces difíciles de distinguir de éstas, sin embargo, cuando se desarrollan en superficies erosionadas.

Los dos principales grupos de los ríos “insecuentes”, son los “insecuentes de escarpa de erosión” y los “insecuentes de escarpa de falla”.

Entre las corrientes de “erosión escarpada” se cuentan las que se desarrollan en las escarpas “marinas” y en las “lacustres”; en las escarpas “fluviales”; en las “glaciáricas”; en las “eólicas”; y, en las “artificiales”. Entre las corrientes de “escarpa de falla”, se encuentran las producidas por afallamientos y por desplomes o hundimientos locales, como las correspondientes a las “ollas morrénicas” o “cubetas glaciáricas” (kettle holes), o a los “sumideros” o “dolinas” (sink holes), sobre cavernas, etc.

III – Ríos subsecuentes.

Cerca de sus cabeceras, las corrientes “insecuentes” de las llanuras costeras pueden desarrollarse en terrenos bajos, paralelas al rumbo de los estratos y sobre rocas subyacentes más blandas. Tales ríos “insecuentes” alargados, se denominan “subsecuentes” —palabra que resulta de la contracción de “subconsecuente”, sometido o que sigue al “consecuente” —que en regiones jóvenes pueden ser de tipo “simple”, pero que en la mayor parte de los casos se convierten en “compuestos”, principalmente a través de capturas. Los “subsecuentes axiales”, abren valles longitudinales sobre las crestas o ejes de los anticlinales y, por deslizamiento, ocupan los valles monoclinales. Según O. D. von Engeln (1949), las corrientes “subsecuentes” son las más largas y las líneas dominantes del drenaje, “constituyendo la respuesta a la presencia de rocas y estructuras débiles, como producto de la relativamente muy rápida erosión de materiales poco resistentes” (Figs. 40 y 41).

W. M. Davis (1923), usó la palabra “subsecuente” en sentido restringido y técnico para designar a “las corrientes que han crecido aguas arriba, por erosión regresiva, a lo largo de fajas de estructura débil, y también para las corrientes que habiéndose desenvuelto así en un ciclo, persisten en los mismos cursos en un ciclo siguiente”. Según Dake, C. L. y Brown, J. S. (1925), los tributarios de los consecuentes “erosionan los estratos más blandos que afloran en fajas paralelas y estrechas, dejando



Figura 40

Diagrama del desarrollo de valles “subsecuentes”: R, formaciones resistentes; D, formaciones débiles; S, corrientes subsecuentes; C, corrientes consecuentes. (Según C. A. Cotton).

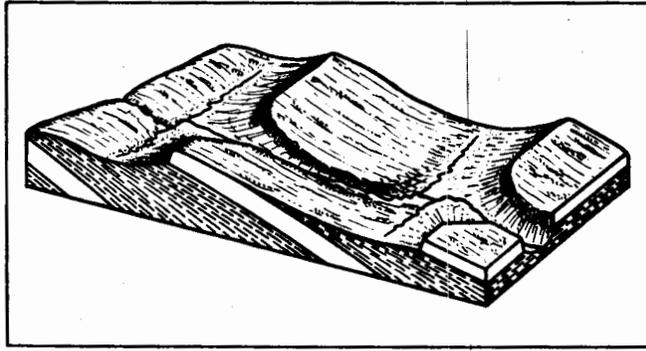


Figura 41

Cuesta con depresión monoclinal y cortadura consecuente. En el lugar donde la corriente corta la cuesta se forman valles de "cornisas, frecuentemente muy profundos. El buzamiento de los estratos es generalmente más agudo que la inclinación del thalweg, apareciendo la cornisa en el fondo encajado del valle; más abajo desaparece, y la sección se alarga en la capa blanda remontando la capa dura, demasiado deprimida para ser alcanzada entonces por la excavación. (Según E. de Martonne).

los más duros como divisorias de aguas. Dichos tributarios dependen de la subestructura, y por ello se los denominan "subsecuentes", originando una disposición paralela de crestas y valles".

Refiriéndose a las corrientes "subsecuentes", P. Macar (1946), manifiesta que si "las irregularidades de las pendientes guían frecuentemente a las corrientes consecuentes, la presencia de zonas menos resistentes a la erosión conducen, por el contrario, a la formación de otro tipo de cursos de agua: los "subsecuentes". Estas corrientes, cuya formación es, por lo general, más tardía que las de las consecuentes primitivas, fluyen en terrenos más débiles, que son causa de su formación. Es preciso indicar, que la formación de una falla frecuentemente disloca las paredes encajantes, creando así una zona menos resistente, a lo largo de la cual podrán desarrollarse los ríos "subsecuentes". Así se explica que ciertos ríos sigan líneas de falla". Las corrientes "subsecuentes" —añade el citado autor— "se desarrollan esencialmente aguas arriba".

"Donde las rocas se componen de capas alternativamente blandas y duras —afirma por su parte A. Holmes (1951)— que buzan hacia el mar, como ocurre con frecuencia, el valle consecuente es estrecho y de laderas abruptas en los lugares en que atraviesa capas resistentes —areniscas, cali-

zas, lavas o mantos interestratificados— y se abre y ensancha al atravesar afloramientos de rocas más débiles— arcillas o pizarras arcillosas—. Un afluente que comienza en rocas blandas tiene mucha ventaja inicial. La erosión ascendente guía su desarrollo a lo largo de dichas rocas, paralelamente al rumbo del estrato. Estos afluentes e llaman “consecuentes”.

IV — Ríos resecentes.

Las corrientes fluviales “resecentes”, son las que W. M. Davis (1906), identifica con aquéllas “que después de un desarrollo espontáneo separado, desde una consecuente original, vuelven a seguirla, es decir, según D. W. Johnson (1932), “una corriente que fluye en una dirección idéntica a la del drenaje consecuente, pero que se desarrolla en un nivel inferior, por ser posterior o más tardía que la de la pendiente inicial. Debe considerarse tal corriente como volviendo a “retomar” una dirección consecuente —y de aquí su denominación de “reconsecuente”, igual a “re-(con)secuente”, igual a “resecente”. Los elementos esenciales en el concepto de este tipo de corriente residen en el hecho del “renovado” desarrollo del drenaje en una dirección consecuente, después de haber adoptado por algún tiempo otra forma de drenaje, y en que este desarrollo renovado tiene lugar sobre un horizonte más bajo que en el que inicialmente se desarrolló el drenaje”.

El concepto de “resecente” se presta a ciertas interpretaciones, un tanto diferentes a las anteriormente mencionadas, como ocurre con P. Macar (1946) y C. A. Cotton (1950). Mientras para el primero, son “los afluentes que siguen la pendiente estructural del “reverso” de las “cuestas”, para el segundo, la formación del drenaje “resecente” se desarrolla de la siguiente manera: “Con la erosión honda de rocas plegadas, posiblemente después de que haya sido removido un vasto espesor de material, durante y posteriormente a una serie de sucesivos levantamientos, al ser eliminados los estratos que forman crestas subsecuentes en las primeras etapas de la erosión, quedan expuestos los plegamientos de las rocas profundas, los cuales pueden ser paralelos, en un sentido general, con los de la superficie original. Desde luego, este caso se produce solamente en los distritos de plegamientos abiertos y simétricos, pero donde se manifiesta este tipo de estructura, puede suceder que un estrato resistente plegado tenga tal relación con el nivel base que, no obstante haber tenido en los comienzos del ciclo un drenaje de disposición subsecuente, heredado de un periodo de erosión anterior, como las rocas que sobreyacen al estrato son erosionadas, la corriente emigra por las pendientes de su superficie hasta una posición sinclinal, formando crestas entre las hileras de anticlinales intactos. Los valles sinclinales y las lomas anticli-

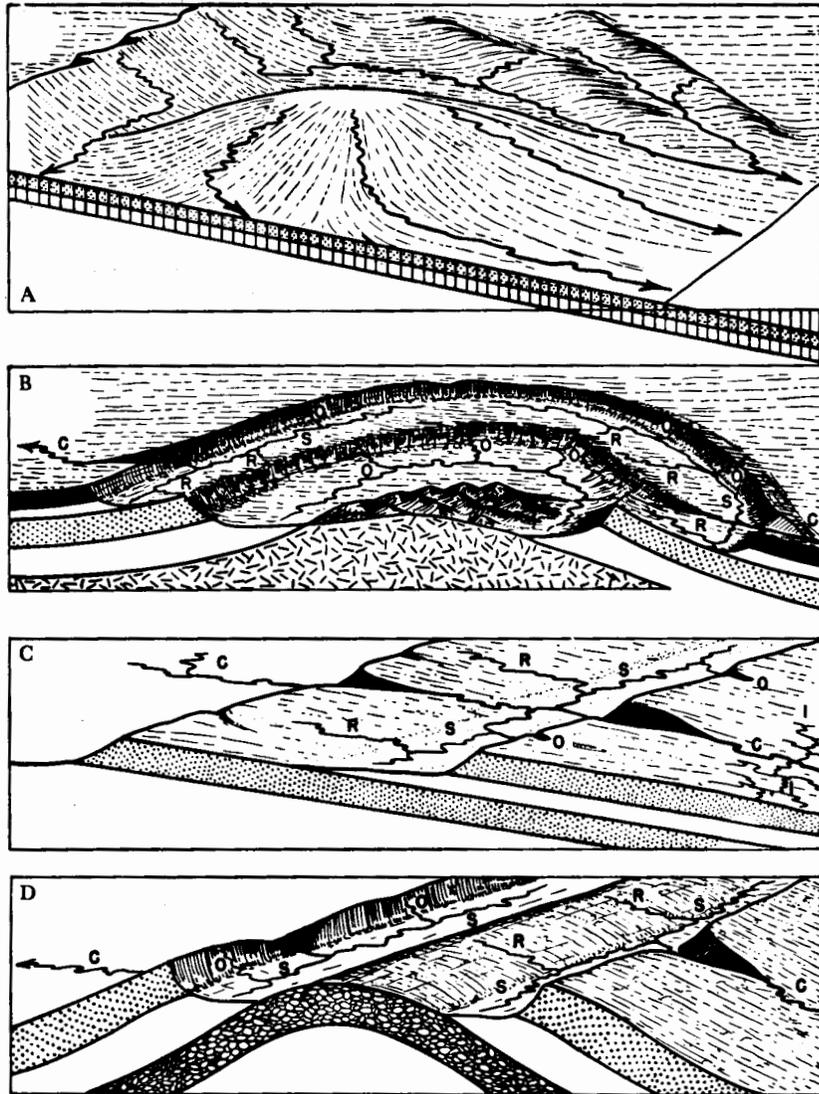
nales simulan rasgos consecuentes, pero desarrollados a partir de una configuración subsecuente del drenaje se denominan "resecuentes". Lomas y valles similares que han permanecido en posiciones anticlinales y sinclinales desde su iniciación, no deben ser denominados "resecuentes", sino "consecuentes", incluso después de haber sido removido un gran espesor de roca. Ejemplos semejantes se presentan en las montañas del Jura. En algunas montañas sud-africanas formadas por rocas plegadas muy antiguas, que han estado expuestas a la erosión durante un largo periodo, se observan prominentes lomas anticlinales y valles sinclinales, para los que se ha supuesto un origen "resecuente".

V – Ríos obsecuentes.

Las corrientes "obsecuentes" son consecuentes peculiares, a causa de su localización sobre la "escarpa" de una "cuesta", es decir, sobre su "frente", por lo que fluyen en dirección opuesta a los consecuentes, cuyos cursos siguen la pendiente de la capa resistente, sobre el "reverso" de la "cuesta". Quedan incluidos en esta categoría de "obsecuentes", las corrientes que discurren sobre las escarpas de falla o sobre bloques inclinados. Caso especial de los "obsecuentes" lo constituyen los denominados por O. D. von Engel (1949), "consecuentes invertidos", y también "corrientes contra el buzamiento", que son las que se extienden hacia abajo, cerca del consecuente capturado, y por la pendiente de la escarpa del codo de captura.

Para D. W. Johnson (1932), son corrientes "obsecuentes" las que fluyen "en una dirección opuesta a la del drenaje consecuente, de donde procede su nombre: "opuesta consecuente", "op(uesta con)secuente", u "obsecuente"; y, para W. M. Davis (1895), las que "fluyen en dirección opuesta a la del buzamiento de los estratos, o de la inclinación de la superficie, en contraste con las consecuentes".

Su modo de originarse lo describe A. Holmes (1951), como sigue: "A medida que la corriente subsecuente, marchando al mismo paso que su consecuente, continúa ahondando su valle en las rocas blandas, su cauce se va desplazando gradualmente en la dirección del buzamiento, es decir, hacia el escarpado. Este último va retrocediendo constantemente, dejando una ladera de pendiente suave al otro lado del valle. El propio valle a medida que se ensancha y extiende, se transforma en tierra baja interior. Los pequeños afluentes que descienden por el escarpado se llaman cursos "obsecuentes" (Fig. 42-A, B, C y D).



Figuras 42-A, B, C, D

Fig. 42-A.—Corrientes consecuentes fluyendo sobre diversas clases de pendientes constructivas; Fig. 42-B.—Domo montañoso con corrientes consecuentes; C; subsecuentes, S; obsecuentes, O; y, resecuentes, R.; Fig. 42-C.—Montañas plegadas con corrientes consecuentes, C; subsecuentes, S; obsecuentes, O; y resecuentes, R.; Fig. 42-D.—Llanura costera, con corrientes consecuentes, C; subsecuentes, s; obsecuentes, O; resecuentes, R; e insecuentes, I. (Según A. K. Lobeck).

VI – Ríos desbordantes.

Los ríos “desbordantes” o “desbordados”, o de “inundación”, constituyen aliviaderos de los cuerpos de agua, como los “efluentes”, “que salen” de los lagos. Se agrupan en dos categorías principales: los “terminales”, que conducen directamente las aguas de los lagos al mar, o hacia una corriente troncal o maestra que las lleva al mar, sin más lagos intermedios; y los “interlacustres”, que desaguan un lago en otro. Las corrientes “desbordantes” o de “inundación”, se caracterizan por su escasa o nula sedimentación, que queda toda dentro del lago. Buenos ejemplos de ambos tipos de corrientes fluviales los constituyen, respectivamente los ríos San Lorenzo y Niágara, ambos en los límites de Estados Unidos y Canadá.

VII – Ríos glaciáricos.

En los ríos “glaciáricos”, su abastecimiento procede de la fusión de la masa de hielo de los glaciares, que facilitan también, material detrítico. Las corrientes “glaciáricas” que se originan en el hielo mencionado, son corrientes sobre el hielo o “superglaciáricas”, por cuyo motivo tienen el carácter de consecuentes, debiéndose considerar como el tipo extremo del grupo. En cambio, las corrientes “subglaciáricas”, o debajo del hielo, son diferentes a todas las demás. “Su peculiar posición bajo la cubierta de hielo —dice A. W. Grabau (1932)— sometidas a la presión hidrostática, la fuerza frecuentemente a fluir a través de obstáculos que una corriente normal no podría vencer, o a marchar contra la pendiente en una parte de su curso. Los cursos anormales de antiguas corrientes “subglaciáricas”, están indicados por la posición de los “eskers”^{*} que han construido. En muchos aspectos, las corrientes “subglaciáricas” se asemejan a las “subterráneas”. (Figs. 43 y 44).

VIII – Ríos subterráneos.

Los ríos “subterráneos” son de grn extensión y diversidad, y siguen diaclasas o juntas en los estratos de caliza, las que van ensanchándose hasta formar cavernas a lo largo de sus cursos y que, subsiguientemente, van rellenándose con depósitos estalactíticos. Este drenaje “subterráneo”, puede desarrollarse hasta la absorción completa del drenaje superficial como ocurre en la península de Yucatán —dando lugar al peculiar

^{*} Voz irlandesa con la que se designa una formación térrea, oblonga, en forma de rosario, compuesta por una serie de conos de deyección, de torrentes de origen glaciárico, denominados “kames”.

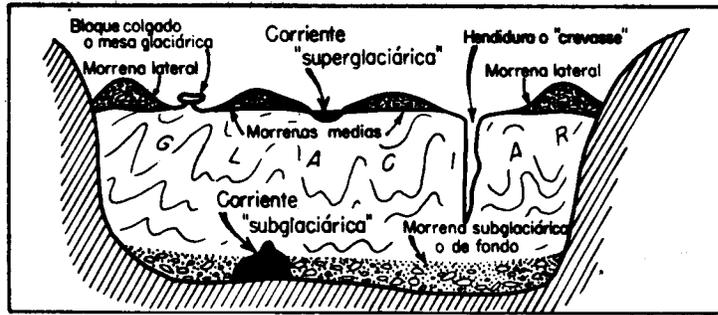


Figura 43

Principales rasgos de un valle glaciario. (Según F. J. Monkhouse).

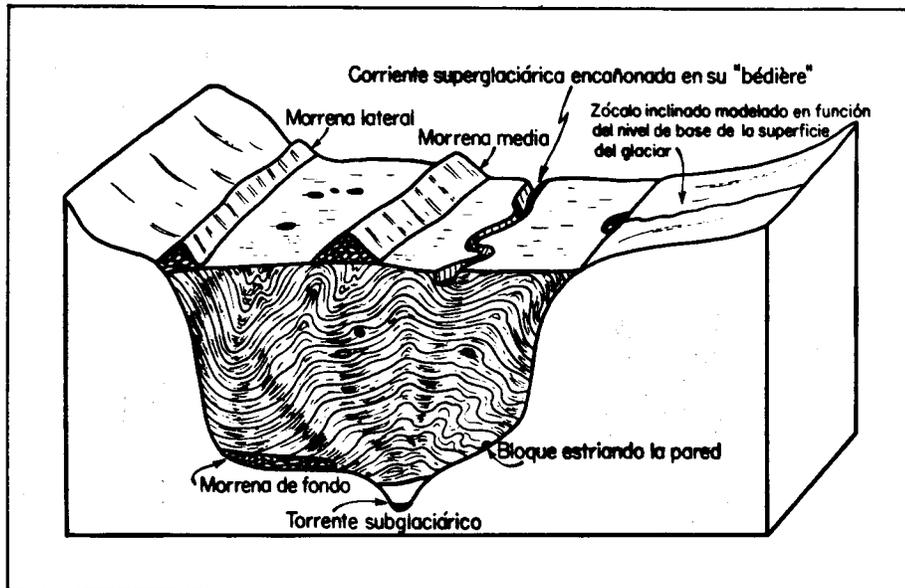


Figura 44

Corte de una lengua glaciárica de tipo alpino. Obsérvese la ausencia de morrena interna. El hielo sólo contiene algunos bloques dispersos. (Según M. Derruau).

paisaje típico "kárstico", tan característico de dicha región, así como de la parte occidental de los Balcanes, especialmente en la costa de Dalmacia, así como en el Jura, Alemania, etc. (Fig. 45 y 46).

Ríos polígenos.

Por lo que respecta a los ríos "poligenéticos" o "polígenos", W. M. Davis (1889 y 1890), los dividió en "mixtos", "compuestos" y "complejos".

Se denominan ríos "mixtos", los que "son de distintas edades en sus diferentes partes, como algunos que son viejos en sus cabeceras, en sus

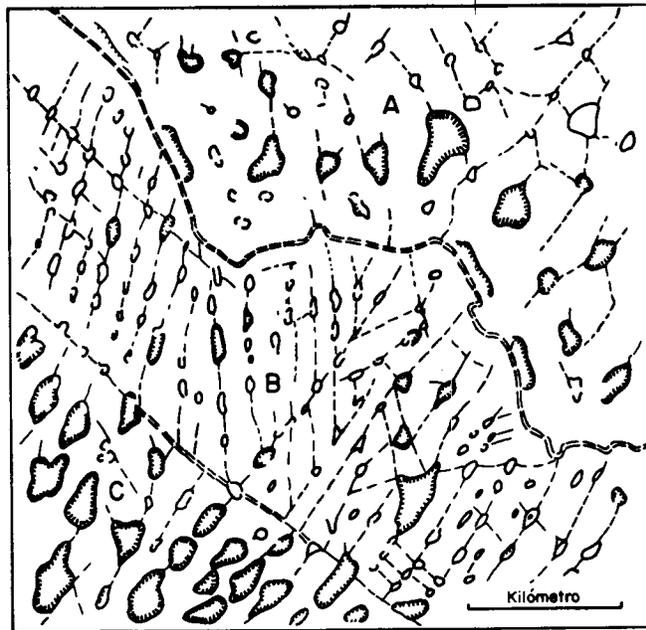


Figura 45

Configuración de drenaje kárstico tropical. En el dibujo se muestran tres diferentes clases de caliza (A, B, C), con tres tipos de sumideros, colinas o sink-holes, y fracturas de disolución. El canal superficial seco está controlado por fracturas. La línea divisoria angular entre los distintos tipos de caliza sugiere la existencia de contactos-falla. (Según la Bataafsche Petroleum Maatschappij y H. F. von Bandat).

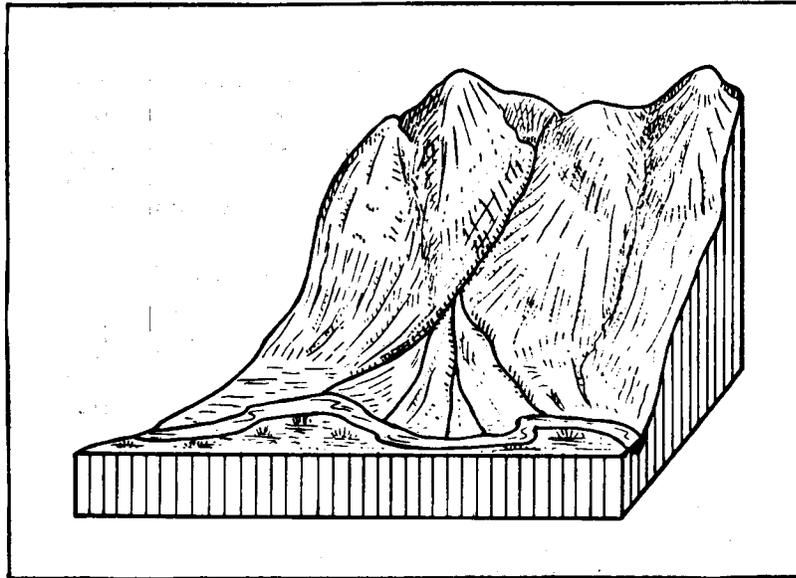


Figura 46

Cono de deyección de un arroyo con gran pendiente. (Según Monkhouse).

nacimientos en las montañas, y jóvenes en sus cursos bajos, al atravesar las llanuras costeras, como ocurre con los "consecuentes extendidos" de la clasificación de A. W. Grabau (1932). Este término sería de aplicación a las corrientes que, por captura, han ensanchado su cuenca de drenaje a expensas de otras corrientes. Los "consecuentes extendidos", por razón de su mayor caudal de agua son aptos para convertirse en "mixtos" o, al menos, en sus principales ramas. El río Mosela, en Francia, es un ejemplo de río "mixto", por captura de varias de las cabeceras del Meuse.

Ríos "compuestos" son aquéllos que incluyen en sus cuencas área de diferente estructura. Para aclarar este concepto y el de río "mixto", hay que tener bien presente que en el caso de los "mixtos" se trata de "ríos", y en el de los "compuestos" se trata de "cuencas", pero como las diferentes estructuras afectan a las corrientes fluviales, modificando sus cursos, esta categoría de ríos poligenéticos es completamente válida. Así sucede, que un río consecuente simple sobre una superficie destructiva (penillanura), o un consecuente superpuesto sobre un terreno mucho más viejo y muy plegado, pueden fluir a través de regiones de diferente

estructura en distintas partes, es decir, tener una cuenca de drenaje "compuesta", no obstante ser el río de carácter simple.

Por último, ríos "complejos" son "los que han entrado en un segundo o posterior ciclo de desarrollo". La complejidad aumenta en el caso de que el río entre, localmente, en un nuevo ciclo, mientras las restantes partes del mismo permanecen relativamente sin cambio. En el sistema de drenaje del río San Lorenzo ocurre esto, considerado en conjunto, a causa de su variada historia geológica. El grado de complejidad sirve para estimar el número de ciclos por los que el río ha pasado.

c) *Clasificación sistemática de las configuraciones del drenaje.*

Entre los autores que han estudiado con particular atención y acierto las relaciones entre la configuración del drenaje y las condiciones geológicas particulares del terreno, a través de las fotografías aéreas, merece lugar destacado Merle Parvis (1949), para quien la "configuración del drenaje" es "la manera o disposición con que una serie de corrientes tributarias se acomodan entre ellas mismas, dentro de una cuenca de drenaje dada".

Aclaran y fijan este concepto de "configuración del drenaje", algunas definiciones del mismo, que aunque posteriores cronológicamente a la de Merle Parvis, vienen a confirmarla en sus términos esenciales. Tal ocurre con la W. D. Thornbury (1954), para quien la "configuración del drenaje" es "el plan o diseño particular que forman colectivamente los cursos individuales de agua" o, bien, según R. R. Hartman y K. N. Isaacs (1958), "la manera en que un área dispone del agua que escurre sobre ella". D. R. Lueder (1959), amplía más dicho concepto, en el que incluye algunos de los elementos que lo integran, al afirmar que es "la distribución o arreglo de las líneas de drenaje superficial y las del drenaje subterráneo poco profundo que cubren un área, con el detalle completo respecto a su densidad, orientación, uniformidad, plan, etc.". Más recientemente, V. C. Miller (1961), define la "configuración del drenaje", con referencia concreta y directa a los factores que lo determinan, cuando dice que es "el acomodamiento planimétrico de varias corrientes, las cuales se hallan, por lo común, ajustadas a ciertos controles topográficos, estructurales o litológicos".

Esta posibilidad de correlacionar los sistemas de drenaje, por lo que a su forma se refiere, con rasgos y fenómenos naturales como los mencionados, ya había sido advertida por C. L. Dake y J. S. Brown (1925), al manifestar que "de la configuración del drenaje de una región se pueden obtener informes en relación con la estructura, aunque se carezca de datos geológicos", con lo que dichos autores apuntaban ya la utilidad del

análisis de los tipos de drenaje, en el reconocimiento mediante fotografías aéreas de regiones inexploradas, o sea, de aquéllas de que se carece de información previa al respecto. Refiriéndose a esta posibilidad, H. T. U. Smith (1943), añadió que “es extraordinariamente importante como clave de la estructura geológica y de la historia geomorfológica”.

Más adelante, el ya citado Merle Parvis (1950), perfila los anteriores asertos, al expresar que “el drenaje de una región se encuentra influido por factores tales como la “estructura de las rocas”, la “textura del suelo”, la “topografía”, las “vías de agua artificiales”, la “precipitación”, la “vegetación”, y la “evaporación”. Como las vías de drenaje y las formas terrestres de una región existen juntas e interdependientes, los suelos y las rocas, en cuanto son partes integrantes de las últimas, influyen en la evolución y carácter de muchos ríos y corrientes tributarios, lo que conduce a la conclusión de que las configuraciones del drenaje pueden usarse para la identificación de suelos y rocas, sobre una base regional”.

La misma opinión ya había sido mantenida por F. H. Lahee (1941), al expresar que “la configuración del drenaje, también llamada de los valles, depende de la “distribución de las rocas”, de la “actitud o posición de las rocas estratiformes”, del “acomodamiento de las superficies de debilidad”, como juntas y fallas, y de “otros rasgos estructurales”. “Consecuentemente —añade dicho autor— puede usarse la configuración del drenaje como ayuda en la interpretación de las estructuras geológicas, así como para el estudio de las formas terrestres”.

Esta relación ha sido reconocida ampliamente, y verificada con éxito, con posterioridad, entre otros por B. A. Tator (1954), para quien “los tipos de drenaje dependen principalmente del “carácter litológico” de las rocas subyacentes; de la “posición” de dichas rocas (ángulo de buzamiento, etc.); y de la distribución y espaciamiento de los planos (o zonas) de debilidad litológica y estructural”, encontrados por el escurrimiento”. Igualmente, D. P. Krynine y W. R. 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”.

Más recientemente, D. R. Lueder (1959), afirma que “la forma de las configuraciones del drenaje puede indicar el origen y tipo de la roca que subyace en un área dada, bajo los detritos transportados o el suelo residual. Por otra parte, ciertas rocas tienen típicas configuraciones del drenaje que las lava, a causa de las características físicas, erosionales y formacionales, de las rocas mismas. Tales configuraciones son verdaderas indicadoras de los tipos de roca y de su origen”. Dicho autor añade que

“la configuración del drenaje desarrollada en los materiales de un área, es principalmente una función de la infiltración del escurrimiento que caracterice a dichos materiales, la que a su vez depende de las características físicas de los materiales mismos, al menos para un régimen climático dado. Otras variables influyen también sobre la infiltración, como el tipo y la densidad de la cubierta vegetal; el contenido de humedad natural del suelo; la existencia de suelo congelado; el laboreo o cultivo del suelo; otras características del perfil del suelo, como su estructura o acomodamiento de sus partículas individuales; la composición mineral de los suelos o rocas; las condiciones geoquímicas especiales creadas por el complejo mineral-clima; y algunos efectos especiales físico-químicos, como el crecimiento, que es típico del perfil del suelo. Sin embargo, tales efectos se sobreponen casi siempre a los factores primarios de la textura y composición del suelo o roca, y es este otro factor el que, sobre relativamente largos periodos de erosión geológica y cambios climáticos, ha ejercido el efecto dominante sobre el desarrollo del escurrimiento, o configuración del drenaje superficial”.

Los datos concretos que, en consecuencia, facilita la configuración del drenaje, son: cantidad de infiltración del escurrimiento; capacidad de infiltración; permeabilidad y textura de los materiales; extensión y localización de los materiales que tengan diferencias significativas; grado de uniformidad de los materiales; localización y extensión de los cambios; localización de los factores generales de control; existencia y, en caso positivo, profundidad de las rocas o del fondo rocoso duro; y, origen de las rocas subyacentes.

La clasificación sistemática de los tipos o configuraciones del drenaje ha sido llevada a cabo por diversos especialistas, tanto geógrafos como geólogos, fisiógrafos como geomorfólogos, intérpretes de fotografías aéreas casi todos. El número de unidades de la clasificación varía para cada uno de ellos, a causa de que, mientras unos solo fijan su atención en los tipos de configuración del drenaje, otros extienden su análisis a los tipos de ellos derivados, inclusive hasta los más complejos. De esta manera y, para no mencionar nada más que a unos cuantos autores, citados cronológicamente, es posible ver que las unidades principales de las categorías del drenaje son, tres para Dake y Brown (1925); siete, para Lobeck (1939); tres, para Lahee (1941); ocho para H. T. U. Smith (1943); diez, para von Engeln (1949); treinta, para Merle Parvis (1950); once, para Thornbury (1954); ocho, para V. C. Miller (1961); seis principales con trece subsidiarios y especiales, para von Bandat (1962), etc.

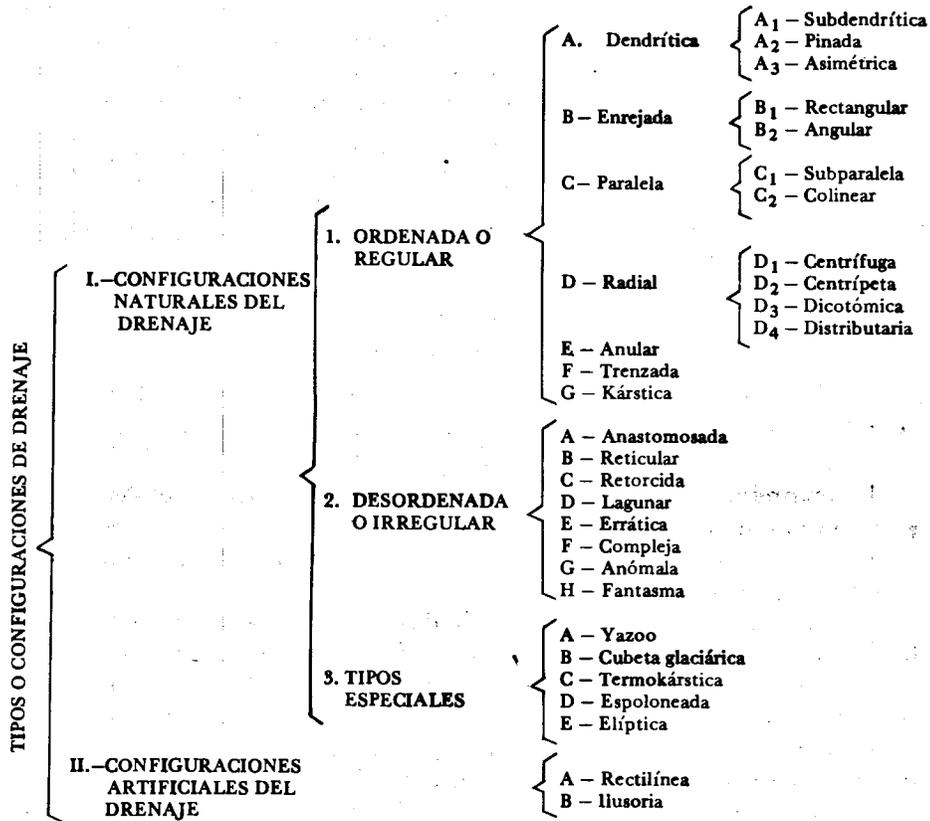
Se puede, sin embargo, hacer una clasificación de las configuraciones del drenaje, dividiéndolas en dos grupos principales: “configuraciones naturales” y “configuraciones artificiales”, incluyendo en la clasificación

a estas últimas, toda vez que igual que las naturales, aparecen en las fotografías aéreas con rasgos peculiares que se hace preciso identificar y clasificar.

El grupo de "configuraciones naturales" se puede subdividir, a su vez, en "configuraciones ordenadas o regulares", "desordenadas o irregulares", y "configuraciones especiales", entendiéndose convencionalmente por regulares u ordenadas a aquéllas que presentan características de relación espacial más definidas. Las "configuraciones especiales" corresponden a tipos muy particulares, y de perfiles muy marcados, del drenaje.

Los treinta y tres tipos resultantes se agruparían así:

CUADRO 5



El grupo de las "configuraciones regulares" contiene, para las tres primeras categorías fundamentales, varias unidades subordinadas, derivadas de las principales, por modificación de los elementos constitutivos de las mismas. Las configuraciones de este primer grupo son las básicas y, por lo tanto, admitidas por casi todos los especialistas. Las demás corresponden a las clasificaciones de diversos autores, especialmente a la de Merle Parvis (1950), aunque muchos de sus tipos secundarios no se encuentran bien caracterizados del todo.

El análisis de los acomodamientos y repeticiones, más o menos típicos de estas configuraciones del drenaje, ha revelado significativas relaciones entre estas formas de redes fluviales y los suelos, rocas y estructuras de las mismas, sobre las que aquéllas configuraciones se desarrollan. Conviene aclarar, no obstante —siguiendo el consejo de P. G. Worcester (1949)— que el control estructural del drenaje, tan definido en la madurez topográfica, pierde gran parte de su importancia en la vejez. Pueden subsistir entonces lomas bajas o sumideros rellenos de rocas resistentes, pero reducidos por la erosión, mientras las corrientes fluviales tienden a formar llanuras a través de los estratos inclinados de diversa resistencia".

El análisis de la configuración sistemática de las "configuraciones del drenaje", tal como se presenta en el cuadro anterior, es el siguiente:

I. CONFIGURACIONES NATURALES DEL DRENAJE

1 — Configuraciones Ordenadas o Regulares.

A — *Dendrítica*.

Se denomina también "arborescente", por parecerse en su desarrollo a la configuración de un árbol, de donde le viene su nombre, del griego "dendron", árbol. Es, desde luego, la más común de todas las configuraciones del drenaje (*Fig. 47*).

En este sistema, la corriente principal corresponde al tronco del árbol, las secundarias o tributarias a las ramas del mismo, y las de menor categoría a las ramitas y hojas. Al igual que en el árbol, las ramas formadas por las corrientes tributarias se distribuyen en todas direcciones sobre la superficie del terreno, y se unen a la principal, o corriente troncal, formando ángulos agudos de diversa graduación, sin llegar nunca, por lo corriente, al ángulo recto. La presencia de la confluencia de dos o más

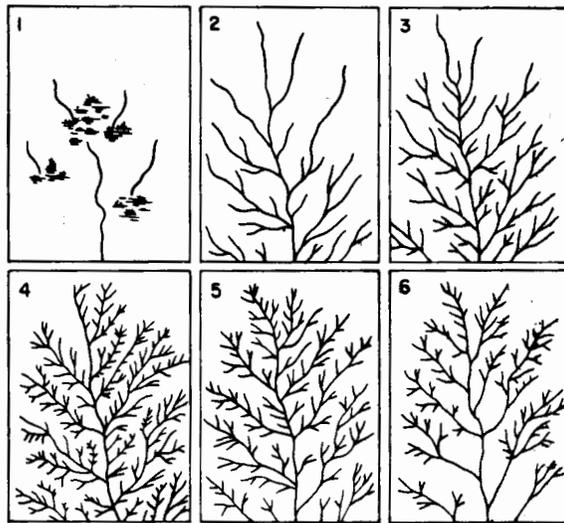


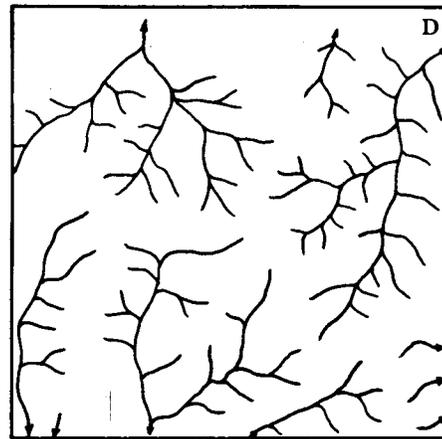
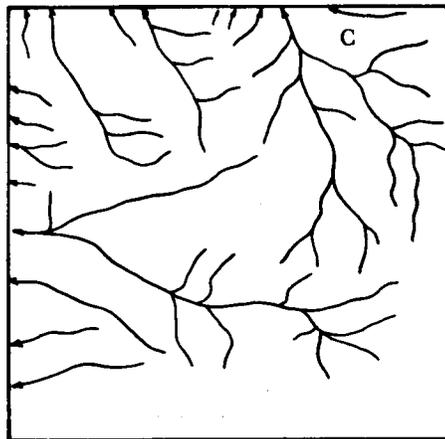
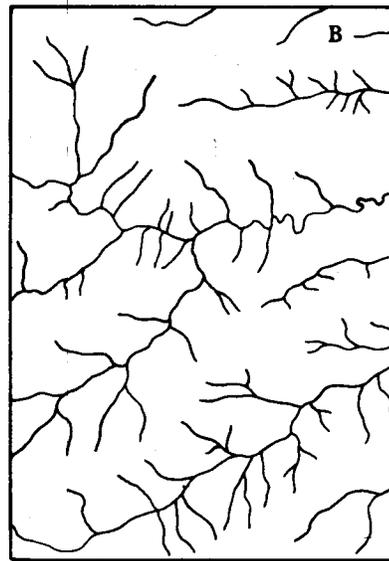
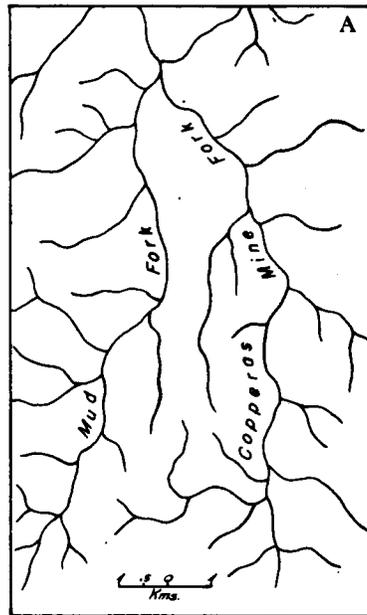
Figura 47

Etapas ideales en el desarrollo de un sistema de drenaje dendrítico: 1.—Iniciación; 2.—Alargamiento; 3.—Elaboración; 4.—Extensión máxima; 5 y 6.—Etapas de integración. (Según S. W. Woolridge y R. S. Morgan).

corrientes en ángulo recto, dentro de una configuración “dendrítica”, constituye precisamente la evidencia de una anomalía que debe atribuirse, por lo general, a fenómenos tectónicos (*Fig. 48-A, B, C, D y E*).

Esta configuración tiene lugar “allí donde la estructura rocosa no interfiere el libre desenvolvimiento fluvial (P. E. James, 1935), y por lo tanto presupone la presencia de rocas de composición homogénea, y la ausencia de rasgos estructurales. Principalmente se produce este tipo de drenaje en rocas sedimentarias homogéneas casi horizontales, como en muchas llanuras ocurre, o en rocas ígneas macizas, como las graníticas. También se halla en rocas horizontales estratificadas, aunque tengan algunas variaciones en su composición, siempre y cuando todos los estratos ofrezcan el mismo grado de resistencia al intemperismo y a la erosión.

No obstante, también se puede encontrar la configuración “dendrítica” sobre rocas sedimentarias plegadas, si se presenta esa condición de tener igual dureza en todas sus capas. Igualmente, y por la existencia de dicha cualidad, puede presentarse esta configuración en rocas metamórficas cristalinas, ya que el metamorfismo intenso borra las diferencias de resistencia de los distintos sedimentos.



Figuras 48-A, B, C, D

Fig. 48-A.—Configuración dendrítica de drenaje, Holden, Virginia Occidental. (Según O. D. von Engeln); Fig. 48-B.—Configuración dendrítica, Virginia. (Según W. D. Thornbury); Fig. 48-C.—Drenaje de configuración dendrítica en rocas horizontales, Virginia Occidental. (Según A. K. Lobeck); Fig. 48-D.—Drenaje de configuración dendrítica, característico de regiones maduramente disecadas, en la zona Allegheny-Cumberland-Mannington, Virginia Occidental. (Según V. C. Finch y G. T. Trewartha).

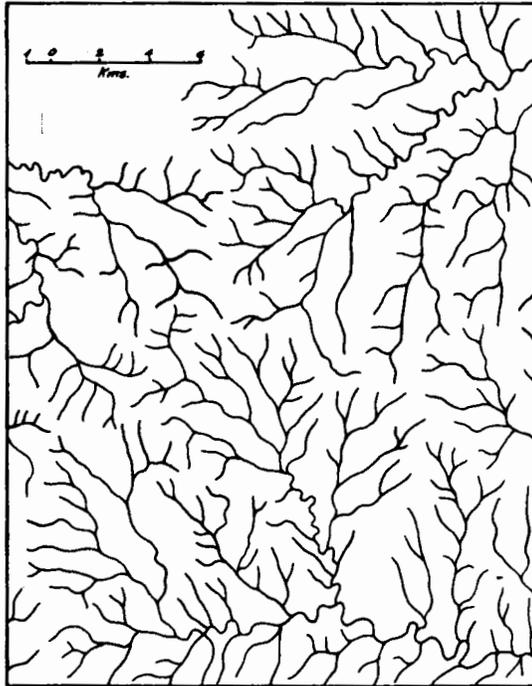


Fig. 48-E.—Drenaje de configuración dendrítica en rocas cristalinas, Montañas Rocosas. (Según A. K. Lobeck).

La homogeneidad en todos sentidos de las rocas que se encuentran dentro de un área de configuración "dendrítica", hace que las corrientes que se inician sobre su superficie, tomen la dirección de la inclinación de la pendiente, de forma que los ríos "dendríticos" troncales, son "consecuentes" inicialmente (Fig. 49). A su vez, la falta de irregularidades, de ondulaciones abruptas superficiales, hace que las corrientes "dendríticas" tributarias que se vayan formando, se extiendan arbitrariamente por toda el área, al no encontrar obstáculos importantes en sus cursos, por lo que éstos son, genésicamente, "insecuentes". Existe, pues, una correlación estrecha entre la configuración "dendrítica" del drenaje y el tipo genésico "consecuente" inicial.

En opinión de P. G. Worcester (1949), esta configuración de drenaje, "cuando se halla bien establecida, asegura una relativamente rápida erosión de las rocas homogéneas de la región; el lavado de las pendientes de un modo uniforme; la acumulación directa de los materiales en los cana-

les de las corrientes; y el continuo rebajamiento de las áreas divisorias de las corrientes”.

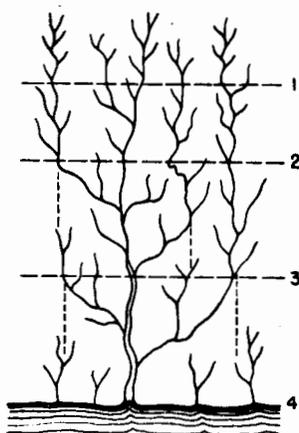


Figura 49

Tendencia a la concentración de drenaje: 1 a 4, cursos sucesivos. (Según P. Macar).

A₁ – Subdendrítica.

Constituye una modificación de la configuración “dendrítica”, que muestra un menor control de la pendiente sobre los tributarios de segundo y tercer orden, entendiéndose por tributarios de primer orden a aquéllos que logran formar barrancas o cárcavas en la superficie del terreno (Fig. 50). Como es natural, se asemejan mucho a las corrientes “dendríticas”, y son el resultado de fluir dichas corrientes desde áreas de materiales poco resistentes a otras con ligero control estructural.

A₂ – Pinada.

Modificación también del tipo “dendrítico”. Los tributarios de segundo orden se encuentran acomodados entre sí de una manera más o menos paralela, indicando este paralelismo la existencia de una pronunciada pendiente, poco común y casi uniforme. Los tributarios de primer orden se encuentran algo espaciados, y a ellos se juntan los de segundo orden en ángulo, que a veces se aproxima al ángulo recto, tal como ocurre con

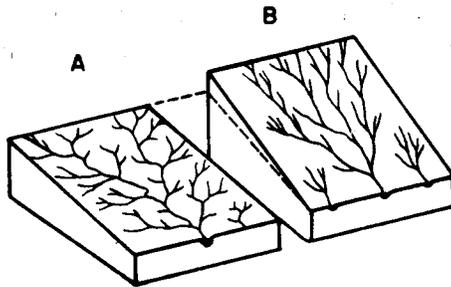


Figura 50

Desarrollo del drenaje insecuente (dendrítico y subdendrítico), sobre rocas homogéneas: A, en pendientes suaves; B, en pendientes pronunciadas. (Según P. G. Worcester).

las ramas del pino, o con las plumas, de donde proviene el nombre de "plumado", que también se aplica a esta configuración del drenaje (Fig. 51).

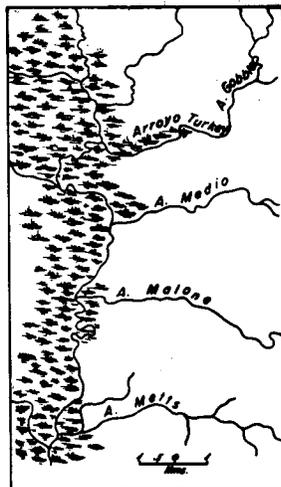


Figura 51

Configuración pinada de drenaje, Holt, Florida. (Según O.D. von Engeln).

A₃ – Asimétrica.

La asimetría puede referirse a cualquier configuración de drenaje, pero con más frecuencia corresponde a la configuración “dendrítica”, por cuyo motivo este tipo constituye una modificación de la misma.

Consiste la “asimetría” en que tiene más tributarios en el lado o vertiente de mayor gradiente, que en la vertiente menos inclinada. Con frecuencia se asemeja a un peine, de donde recibe el nombre de “pectini-forme” (Fig. 52).*

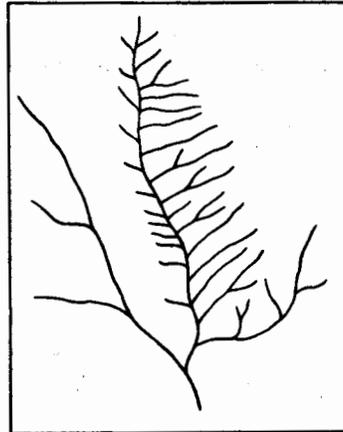


Figura 52

Configuración asimétrica de drenaje. (Según Merle Parvis).

B – Enrejada.

Se la designa también con el nombre de “emparrada”, por su parecido con la figura que forma una parra en el enrejado de un jardín o parral. Esta configuración de drenaje se debe al “ajustamiento” o “acomodamiento” del mismo a la estructura, y es característico de rocas muy plegadas y con agudo buzamiento, cuyo marcado control refleja, “excepto, posiblemente, por lo que se refiere a la corriente troncal” (W. D. Thornbury, 1954).

* Del latín “pecten, pectinis”, peine.

Se tipifica esta configuración —según H. T. U. Smith (1943), —“por largos tributarios, más o menos paralelos y de recto trazado, con cortos tributarios secundarios, que se juntan con los anteriores formando con ellos toscos ángulos rectos”. Las corrientes troncales suelen fluir transversalmente, con relación a los tributarios primarios, pero en otros lugares pueden ser subparalelos a ellas.

Este sistema de corrientes subparalelas se desarrolla generalmente, alineándose éstas a lo largo del rumbo de los estratos de las formaciones, o entre rasgos topográficos paralelos, depositados recientemente por el viento, como dunas de arena, o por el hielo, como los “drumlins,”* aunque en estos casos particulares, la configuración “enrejada” del drenaje, tiene muy poco que ver, o nada, con la estructura de las rocas subyacentes. Las corrientes principales de esta configuración “enrejada”, se doblan casi en ángulo recto para cruzar las alineaciones de crestas o lomas, encontrándose también en ángulo recto los tributarios primarios con relación a los principales, por lo común, y juntándose con ellos igualmente los tributarios secundarios en ángulo recto, después de seguir estas corrientes secundarias un curso paralelo a las maestras o principales.

El control estructural del drenaje se debe a la desigual resistencia de los estratos inclinados, y a que afloran en fajas estrechas y paralelas, por lo que los tributarios, al erosionar las capas más blandas, respetando las más duras, que quedan como divisorias de aguas entre las anteriores, originan una disposición paralela de crestas, formadas por las rocas resistentes, y valles constituídos por las rocas débiles.

Un tipo particular de configuración “enrejada” de drenaje se origina cuando se presentan fallas paralelas, bien por el hundimiento de bloques paralelos o como resultado de la erosión a lo largo de zonas fracturadas, denominándose por ello “enrejado de falla”. “Este tipo es —sin embargo— menos intrincado y más estrechamente espaciado, por lo corriente, que el resultante de pronunciados plegamientos de estratos duros y blandos alterantes” (Dake y Brown, 1925).

Se produce también esta configuración entre series de “grabens” y “horsts” alternantes; si el drenaje se encuentra menos estrechamente espaciado que el que se desarrolla en estratos inclinados duros y blandos, el drenaje de los bloques entre las fallas, muestra una tendencia hacia la configuración dendrítica. Esta tendencia se acentúa a medida que el ciclo fluvial se desarrolla en la región, hacia la madurez completa o hacia la

* Voz irlandesa, con la que se designa una formación glaciática formada por morrenas, y que tiene forma de montículo elíptico, cuyo eje mayor es paralelo a la dirección del avance o retroceso de los hielos, es decir, al eje del antiguo glaciar. Suelen formar series paralelas, de hasta 100 metros de altura, un kilómetro de anchura y cinco de longitud.

vez, en cuyo caso las corrientes "enrejadas" comienzan a serpentear en amplios meandros, esfumándose así la configuración "enrejada" original.

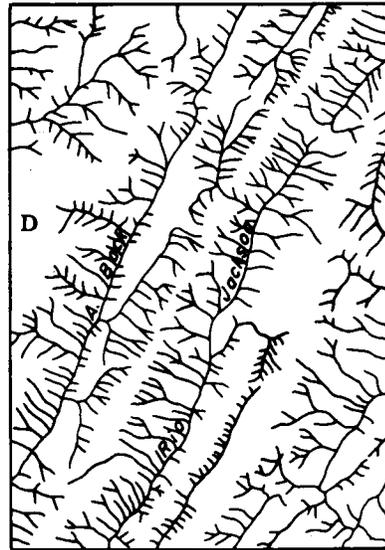
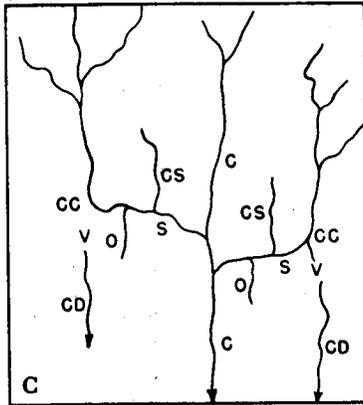
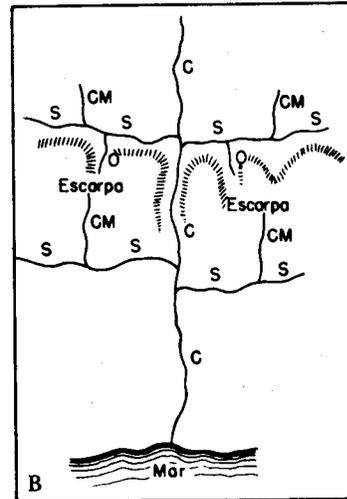
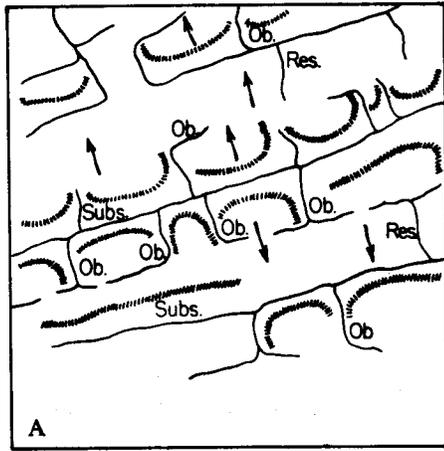
Igualmente se origina esta configuración "enrejada" de drenaje en las crestas de los anticlinales, pues "a causa de su posición elevada y, parcialmente, a causa del fracturamiento durante el proceso de plegamiento, las crestas de los anticlinales son más vigorosamente atacadas por los agentes destructivos, que las áreas adyacentes. Entonces, tan pronto como la erosión ha cortado a través de un estrato más duro, dentro de uno blando en la cresta del pliegue, se tenderá a la formación de un valle longitudinal a lo largo del eje del anticlinal, fluyendo el drenaje hacia afuera, a través de una abertura labrada en el estrato duro lateral del anticlinal. Este proceso se verificará de un modo general en toda el área plegada, con corrientes longitudinales, tanto en los anticlinales como en los sinclinales, y con corrientes cruzadas casi en ángulo recto con ellas, o transversales, rompiendo a través de las capas duras. Por el proceso de "piratería fluvial" son eliminadas las más pequeñas corrientes transversales, quedando la configuración del drenaje constituida por unas pocas corrientes troncales, las cuales podrán romper "boquillas" (water gaps), a través de las crestas de rocas duras. Sin embargo, una gran proporción de los tributarios e incluso grandes secciones de las corrientes principales, que ocupan los valles subsecuentes, paralelos a las estructuras de las rocas, romperán también a través de ellas en ángulos rectos ocasionales o en sectores transversales, dando lugar a la configuración "enrejada" (Dake y Bown, 1925) (Figs. 53-A, B, C, D y E).

Para darse esta configuración "enrejada", se combinan —según A. K. Lobeck (1939), tres tipos de corrientes génicas, a saber:

- a) Las corrientes más largas, que siguen los afloramientos de las rocas más débiles, y que son corrientes "subsecuentes".
- b) Los tributarios de cada lado, que son "obsecuentes" o "resecuentes", dependiendo de que fluyan en oposición o en concordancia con el buzamiento de los estratos, debiéndose las corrientes transversales en tal área, probablemente, a "sobreposición".

Según A. Holmes (1952), esta configuración fluvial "es rectangular, formada por cursos de agua "consecuentes", paralelas al buzamiento de los estratos, y corrientes "subsecuentes", paralelas al rumbo de los mismos.

La configuración "enrejada" se desarrolla muy bien en los plegados Apalaches, desde Nueva York a Alabama, donde alternan estratos duros y blandos, y en menor escala en el frente de la sierra de Colorado, donde también alternan estratos de dichas clases con buzamiento muy pronunciado; en las montañas del Jura, en Francia, y en las costas meridionales de Inglaterra, etc.



Figuras 53-A, B, C, D

Fig. 53-A.—Drenaje de configuración enrejada o emparrada, en rocas plegadas, Pennsylvania. (Según A. K. Lobeck); Fig. 53-B.—Corrientes fluviales consecuentes, sub-consecuentes y obsecuentes. CM = consecuente menor. (Según N. K. Horrocks); Fig. 53-C.—Configuración enrejada de drenaje. CS = Consecuente secundario; CD = Consecuente decapitado; CC = Codo de captura; V = Ventana o collado divisorio. (Según F. J. Monkhouse); Fig. 53-D.—Configuración enrejada de drenaje, Monterrey, Virginia. (Según W. D. Thornbury).

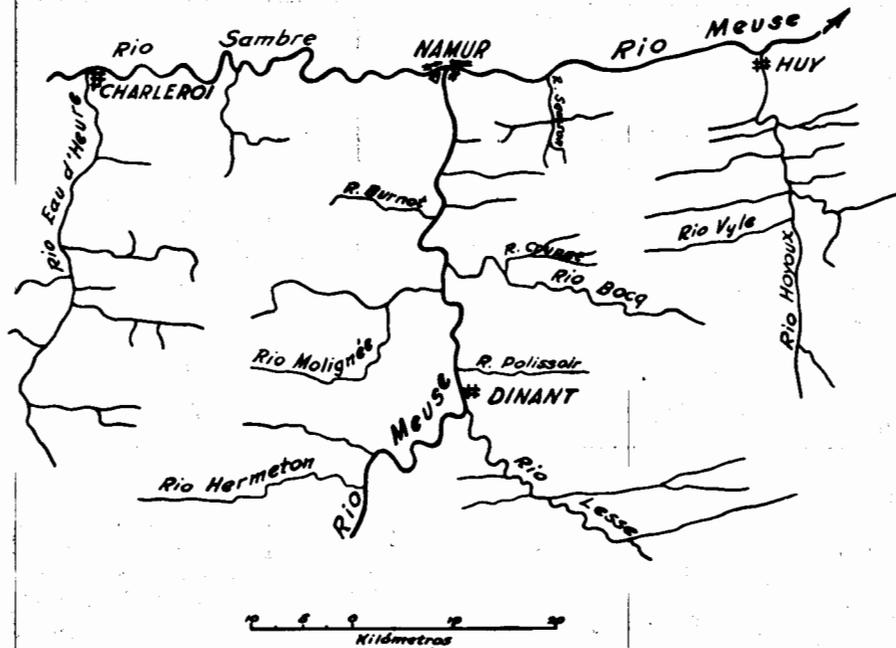


Figura 53-E

Red hidrográfica enrejada, de Entre-Sambre et Meuse y de Condroc, Bélgica. (Según P. Macar).

B₁ — Rectangular.

Esta configuración es una modificación de la "enrejada", y se caracteriza por violentos cambios rectangulares en el curso de las corrientes fluviales, tanto de las principales como de las tributarias.

Esta disposición rectangular es una consecuencia de los sistemas de juntas o diaclasas, y de fallas, como ocurre en las areniscas Potsdam, de Nueva York, en Ausable Chasm, estratificadas horizontalmente, así como en las montañas Adirondacks, en las que los bloques montañosos tienen una configuración de tablero de ajedrez, ajustándose los valles a las fallas y juntas. Este sistema se desarrolla igualmente muy bien, a lo largo de las costas de Noruega. (Figs. 54-A, B y C).

La configuración "rectangular" se encuentra afectada localmente, en ocasiones, por la diferente composición de estratos horizontales.

Para P. G. Worcester (1949), este tipo de drenajes "es el desarrollado en una región madura, sobre estratos plegados. Las tributarias alcanzan a las principales en ángulos rectos, y también las tributarias de tributarias

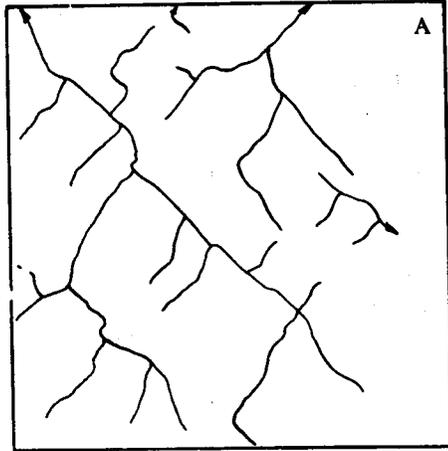


Figura 54-A

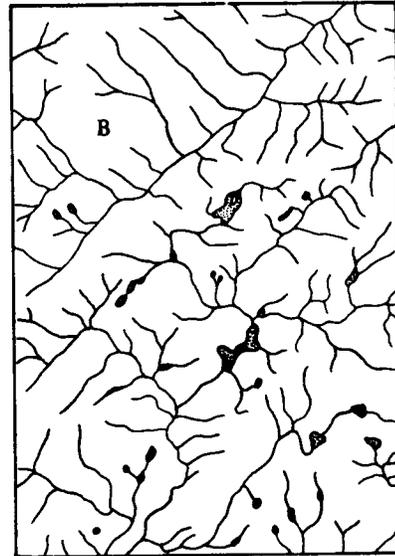


Figura 54-B

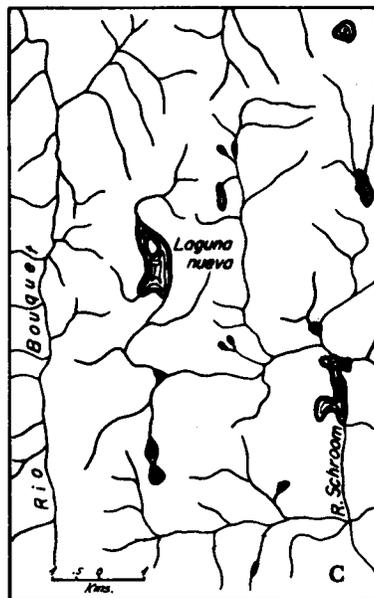


Figura 54-C

Fig. 54-A.—Drenaje de configuración rectangular en rocas cristalinas con diaclasas, en las Montañas Adirondacks. (Según A. K. Lobeck). Fig. 54-B.—Drenaje rectangular, Elizabethtown, Nueva York. (Según W. D. Thornbury); Fig. 54-C.—Configuración rectangular de drenaje, Elizabethtown, N.Y. (Según O. D. von Engeln).

alcanzan a éstas en ángulo recto, a causa de la influencia del control de la estructura de las rocas". Para este autor, la configuración enrejada viene a ser, inversamente a lo indicado antes, una variedad de la rectangular. H. T. U. Smith (1943), estima que la diferencia entre ambas reside en el hecho de ser más regular el tipo enrejado, puesto que el rectangular tiene tramos rectos cortos, en vez de largos como el enrejado, y con numerosos y abruptos cambios de rumbo. Por juntarse las corrientes en ángulo más o menos recto, pero a veces, también en ángulos agudos y hasta obtusos, dicho tratadista opina que, su denominación de "angulada" o "angulosa", sería más apropiada que la de "rectangular".

En muchas regiones de drenaje dendrítico, puede observarse una oscura tendencia hacia el "rectangular".

"Aunque los geólogos se inclinan —dice W. D. Thornbury (1954) —a otorgar indebida importancia al sistema "rectangular" de drenaje, a causa del control del mismo por fallas y juntas, es cierto, sin embargo, que localmente pueden determinar estos accidentes tectónicos la existencia de corrientes fluviales".

B₂ — Angular.

Constituye otra modificación de la configuración "enrejada", asemejándose a la "rectangular", su derivada, pero diferenciándose de ella, porque los tributarios se unen a las corrientes principales formando ángulos agudos y no rectos.

Al igual que la configuración "rectangular", la "angular" o "angulada", refleja la influencia sobre el drenaje de los sistemas de juntas o diaclasas de las rocas.

C — Paralela.

"La configuración del drenaje es llamada "paralela", cuando las corrientes sobre un área considerable o, en un número sucesivo de casos, fluyen casi paralelas unas a otras" (O. D. von Engeln, 1939), por cuyo motivo se la denomina también, de "cauda equina" o "cola de caballo" (horse's tail), (Merle Parvis, 1950).

Este tipo de drenaje se localiza donde hay pendientes pronunciadas, o donde existen controles estructurales que motivan un espaciamiento regular, casi paralelo, de las corrientes fluviales, e implica —según O. D. von Engeln, 1939 —"pronunciadas pendientes regionales, o pendientes producidas por rasgos topográficos paralelos, como una superficie glaciática remodelada, del tipo de "drumlins", o control de estructuras paralelas plegadas o afalladas".

Ocasionalmente, fallas paralelas pueden originar crestas y valles para-

lelos, con el consiguiente drenaje de configuración "paralela", en diversas formas.

En general, aguas abajo de los frentes montañosos, si no se encuentran controlados por otros rasgos estructurales, los valles consecuentes no mostrarán, probablemente, los cambios de curso en ángulo recto, tan comunes en la configuración "enrejada", y se desarrollarán paralelamente, descendiendo por las pendientes de los macizos de las montañas. Se asemejan estas corrientes a las de tipo enrejado, pero no deben confundirse con ellas. (Figs. 55-A, B y C).

C₁ – Subparalela.

Es una modificación de la configuración "paralela", en la que las corrientes fluviales asemejan la disposición de las ramas de algunos árboles, como los álamos de Lombardía, pero "carece de la regularidad de la configuración paralela" (E. R. Zernitz, 1932).

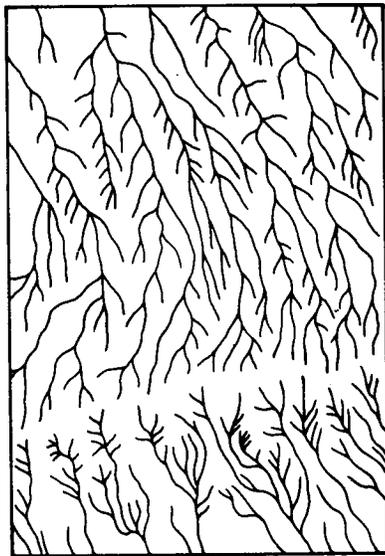


Figura 55-A

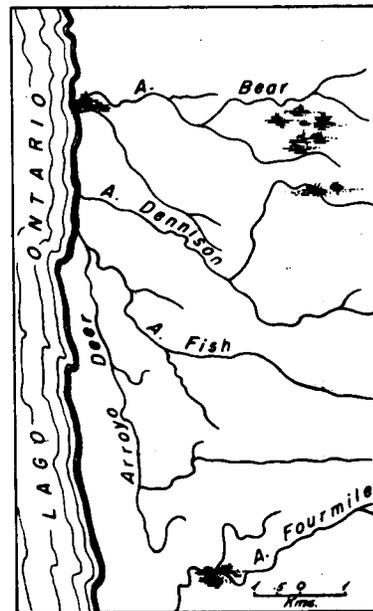


Figura 55-B

Fig. 55-A.—Configuración paralela, Parque Nacional de Mesa Verde, Colorado. (Según W. D. Thornbury); Fig. 55-B.—Drenaje de configuración paralela, Macdon, N.Y. (Según O. D. von Engeln).

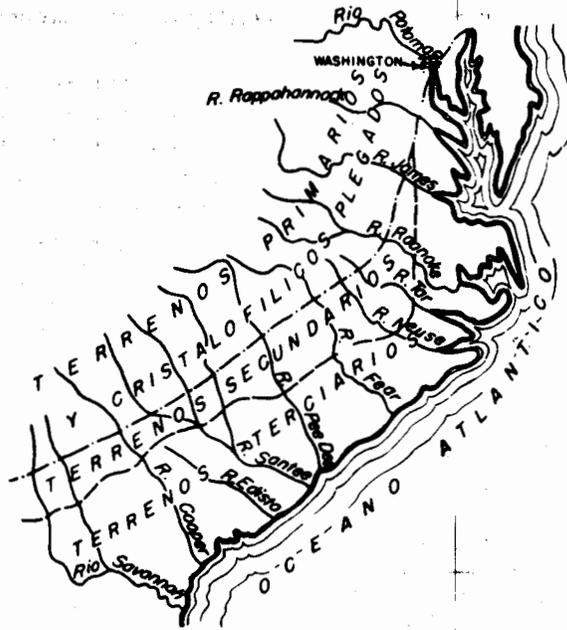


Figura 55-C

Red hidrográfica consecuente y paralela, de la llanura costera oriental de los Estados Unidos. (Según P. Macar).

C₂ – Colinear.

Constituye este tipo de drenaje otra modificación o variedad de la configuración “paralela”, estando formada por corrientes más o menos paralelas y alternadamente superficiales y subterráneas.

Este tipo es característico de determinadas regiones y sus corrientes son intermitentes, que fluyen sobre áreas formadas por materiales porosos y con cursos aproximadamente rectilíneos.

D – Radial.

Denominada así, porque las corrientes fluviales se encuentran dispuestas como los rayos o radios de una rueda, con relación a un punto central.

Este término puede también referirse —dice Robert E. Horton (1945)—, a un grupo de configuraciones de drenaje originadas en un punto común, forma que con frecuencia ofrecen los sistemas de cerros aislados.

D₁ – Centrífuga.

Una de las dos principales clases de configuración “radial” del drenaje, que se desarrolla en domos, conos volcánicos, y en otros tipos de estructuras aisladas, cónicas o subcónicas.

En el tipo “radial centrífugo”, las corrientes fluviales son del tipo genésico “consecuente”, y divergen desde un punto o área central, elevado,

Para W. D. Thornbury, este tipo de configuración es la única “radial”.

Refiriéndose a ellas, H. T. U. Smith (1943), llama la atención sobre su importancia en la técnica de identificación de las imágenes fotográficas aéreas, cuando dice, que “en un área relativamente llana, los domos enterrados pueden inducir a la formación de una configuración “radial” del drenaje. Si las corrientes radiales intersectan fajas concéntricas de rocas duras y débiles, esta configuración debe estimarse como evidencia sustancial de haberse producido dicho levantamiento dómico”. Y, en efecto, ha sido posible localizar tardíamente, en las fotografías aéreas y por medio de este rasgo, numerosos domos salinos en la costa del Golfo de México, de los Estados Unidos, aunque la casi totalidad ya habían sido descubiertos previamente por métodos geofísicos. A estas localizaciones de domos salinos por medio de la identificación del drenaje “radial”, combinado con el “anular”, se refiere F. A. Melton (1944), y C. De Blieux (1949). (*Figs. 56-A, B, C; 57-58-59-60*).

D₂ – Centrípeta.

Es el tipo de configuración “radial” que sigue en importancia a la “centrífuga”, de la que se diferencia tan sólo por converger las corrientes en un punto o zona central, por lo que también se llama “concéntrica”, en vez de diverger y, en que, en lugar de tratarse de un área elevada, en este caso se trata de un área baja o hundida. En esencia, pues, son iguales ambas configuraciones, puesto que, en las dos las corrientes fluyen radialmente, variando tan sólo el sentido de la fluencia.

Se presenta esta clase de configuración “centrípeta” del drenaje, que es también “consecuente”, cuando las corrientes confluyen en una depresión topográfica central, en una cuenca estructural, o en cráteres volcánicos, “sumideros”, u otras estructuras semejantes.

Para R. E. Horton (1945), esta clase de configuración queda limitada al caso en que “la línea divisoria de aguas tiene la forma aproximada de un arco de círculo, y la superficie interna o de la concavidad es pendiente, e incluso pendiente pronunciada; entonces, los tributarios de los lados opuestos de la cuenca, entran en la corriente principal, aproximadamente en el mismo punto”. Esta limitación de la definición de este autor, se debe a que las configuraciones aquí consideradas como “centrípetas”,

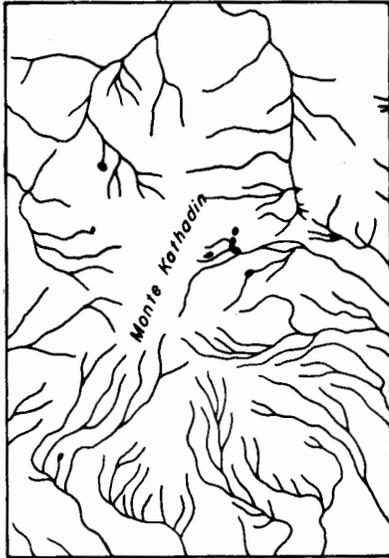


Figura 56-A

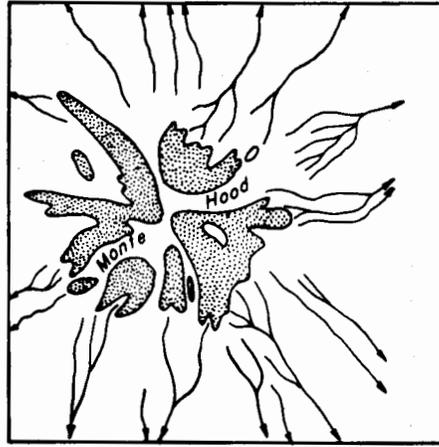
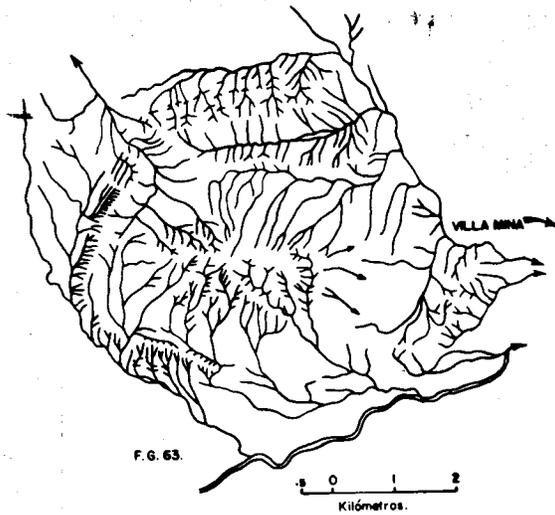


Figura 56-B



Figura 56-C

Fig. 56-A.—Configuración radial de drenaje, Monte Kathadin, Maine. (Según W. D. Thornbury); Fig. 56-B.—Drenaje de configuración radial, sobre un volcán, Monte Hood, Oregón. (Según A. K. Lobeck); Fig. 56-C.—Configuración radial de drenaje en los Montes San Juan, Colorado. (Según V. C. Finch y G. T. Trewartha).



F.G. 63.

Figura 57

Drenaje de configuración radial centrífuga y anular, en una estructura anticlinal con forma de domo, en las cercanías de Villa Mina, sobre el ferrocarril de Monterrey a Piedras Negras, Estado de Nuevo León, México. (Según F. Guerra Peña).

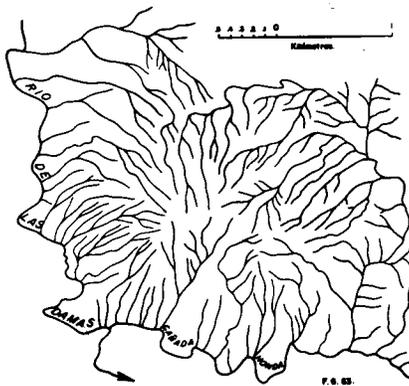


Figura 58

Configuración radial centrífuga de drenaje, ajustada a una estructura anticlinal con forma de domo y eje NW-SE, en la Sierra de Baoruco, República Dominicana. (Según F. Guerra Peña).

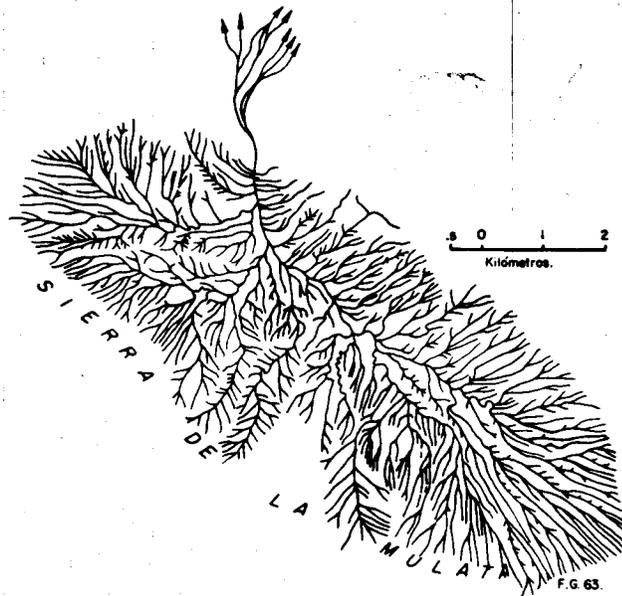


Figura 59

Drenaje de configuración radial centrífuga abierta, correspondiente a una estructura anticlinal de cima erosionada y relieve invertido, en la Sierra de la Mulata, Estado de Nuevo León, México, con abanico aluvial en la desembocadura y configuración local paralela al oriente. (Según F. Guerra Peña).

ojanoib

él las clasifica como “radiales”, mientras que su calidad de “centrípeta” corresponde a un caso particular del tipo “dicotómico”, de la clasificación que se describe.

La configuración “centrípeta” es frecuente, y la denominación puede también aplicarse a un grupo de configuraciones de drenaje que convergen en un punto común. (Figs. 61 y 62).

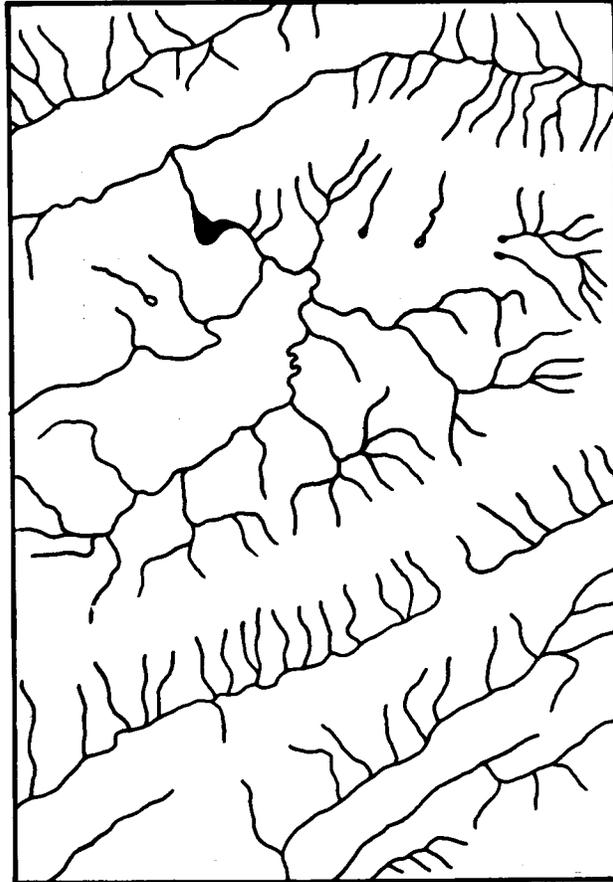
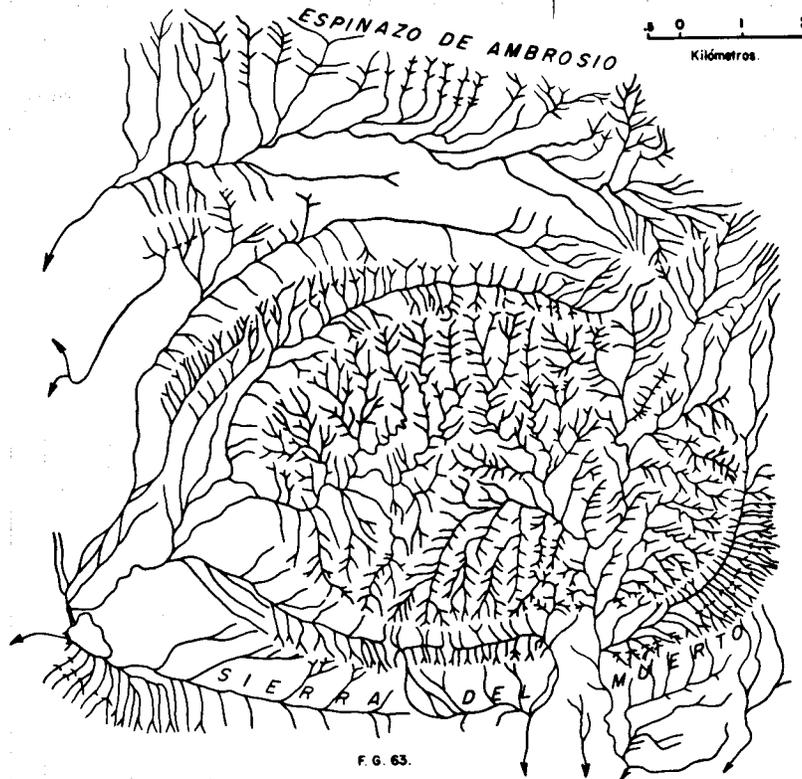


Figura 61

Configuración centrípeta-enrejada-kárstica, Burkes Gardens, Virginia.
(Según W. D. Thornbury).



F. G. 63.

Figura 62

Drenaje de configuración radial centrípeta abierta y anular, de una cuenca sinclinal localizada entre el Espinazo de Ambrosio y la Sierra del Muerto, Estado de Nuevo León, sobre el ferrocarril de Saltillo a Piedras Negras, en las cercanías de la estación de Paredón, Estado de Coahuila, México. (Según F. Guerra Peña).

D₃ – Dicotómica.

Esta configuración, genéricamente “consecuente”, constituye una modificación del tipo “radial”, que bien puede calificarse de “semi-radial”. Su denominación procede de “dicotomía”, que significa biburcación o división en dos partes, por lo general, radialmente, como sucede con las corrientes fluviales en los “abanicos aluviales”, cuyo rasgo tipifican, según Finch y Trewartha (1949). (Figs. 63 y 64).

Los autores norteamericanos denominan a estas corrientes “dicotómicas”, que se pierden en el relleno de los valles, “anabranches”.



Figura 63

Mapa que muestra la ramificación intrincada de los canales distribuidores dicotómicos temporales sobre los abanicos aluviales de los ríos Kings, Kaweah y Tule, en California. (Según V. C. Finch y G. T. Trewartha).

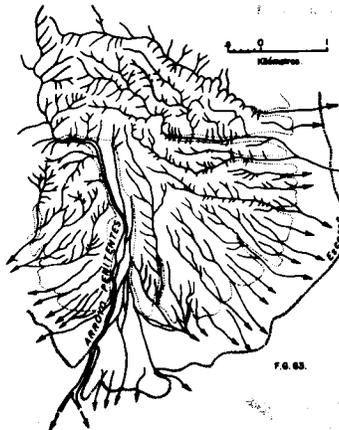


Figura 64

Abanico aluvial del arroyo Penitentes, al NW del lago Enriquillo, República Dominicana, revelador de un clima con escasa precipitación anteriormente húmedo. (Según F. Guerra Peña).

D₄ – Distributaria.

Puede calificarse también de “semi-radial” a esta configuración del drenaje, con referencias al tipo “radial”, que modifica.

Corresponde esta denominación a las corrientes, genéricamente “consecuentes”, que se acomodan en los deltas fluviales en forma de “pata de ave” (bird's foot), es decir, a aquéllas que penetran dentro del mar radialmente, como los dedos de una mano abierta, formando una serie de canales independientes, conocidos como “distributarios” y, que se caracterizan, en contraste con los “tributarios”, porque al separarse de la corriente principal ya no vuelven a reunirse con ella, ni con otra tributaria. (Figs. 65 y 66-A, B, C, D).

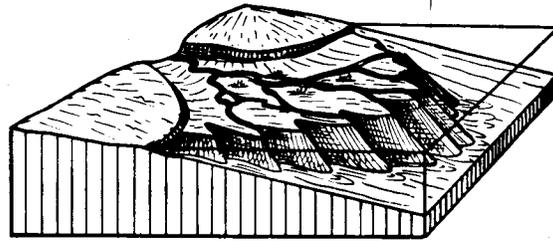


Figura 65

Esquema de delta. (Según P. Macar).

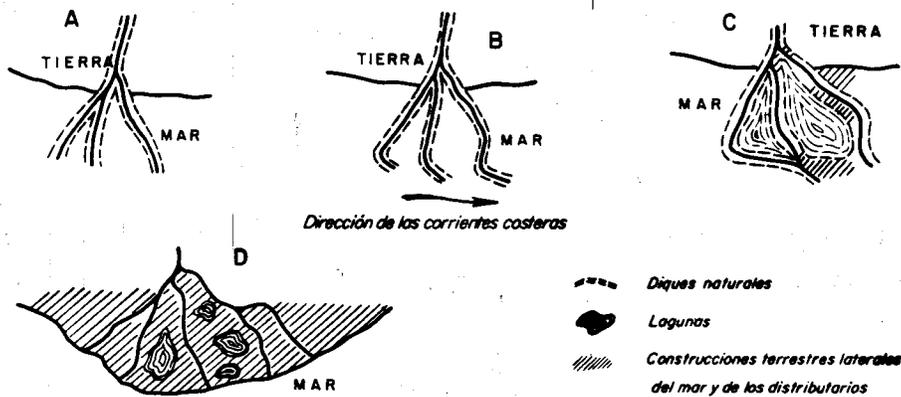


Figura 66-A, B, C, D

Desarrollo de un delta: 66-A.—Dique lobulado con diques naturales; Fig. 66-B.—Lóbulos de “pata de ave”; Fig. 66-C.—Relleno y aislamiento de la laguna; Fig. 66-D.—Delta arqueado. (Según N. K. Horrocks).

Magníficos ejemplos de este tipo de drenaje los constituyen deltas de famosos ríos, como los del Danubio, Po, Mississippi, etc. (Figs. 67, 68, 69, 70, 71 y 72).

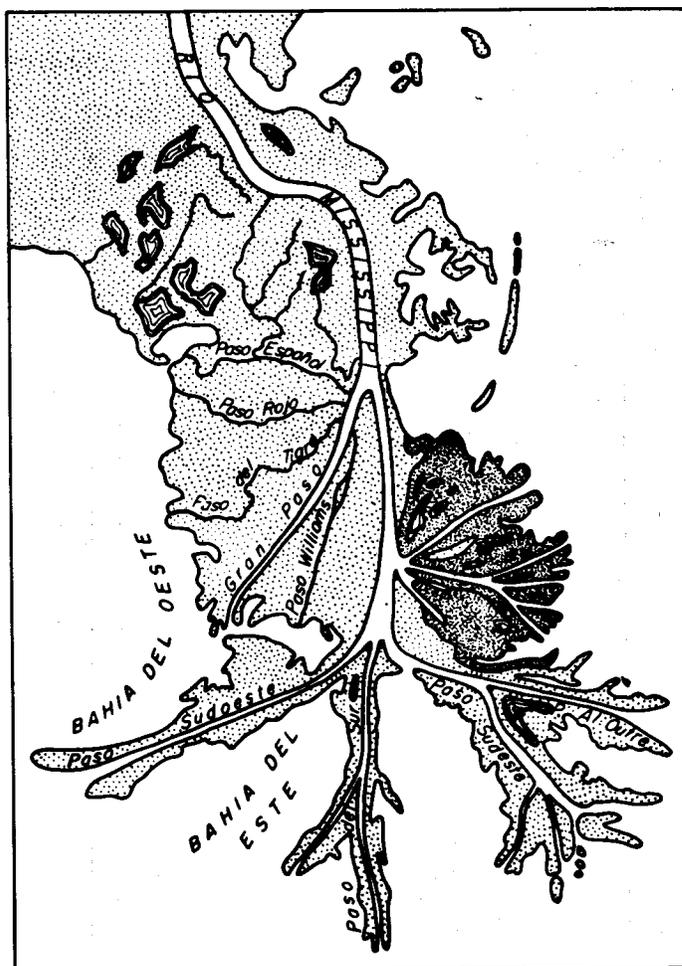


Figura 67

Delta digitado o de "pata de ave", del río Mississippi, en vías de rápido crecimiento, con los últimos rellenos (punteado fino). (Según O. D. von Engeln y E. de Martonne, modificados).

E — *Anular.*

Se asemeja este tipo de configuración de drenaje a un anillo, y de ahí su nombre. A. K. Lobeck (1939), la ha comparado en su desarrollo, con el crecimiento anual de los anillos de un árbol.

Son “anulares” las configuraciones fluviales de los domos maduramente disecados, con fajas alternantes de rocas duras y blandas que los rodean. El drenaje se acomoda a los afloramientos de las rocas más débiles.

Las corrientes “anulares” son, genésicamente “subsecuentes”, con tributarios “obsecuentes” y “resecuentes”.

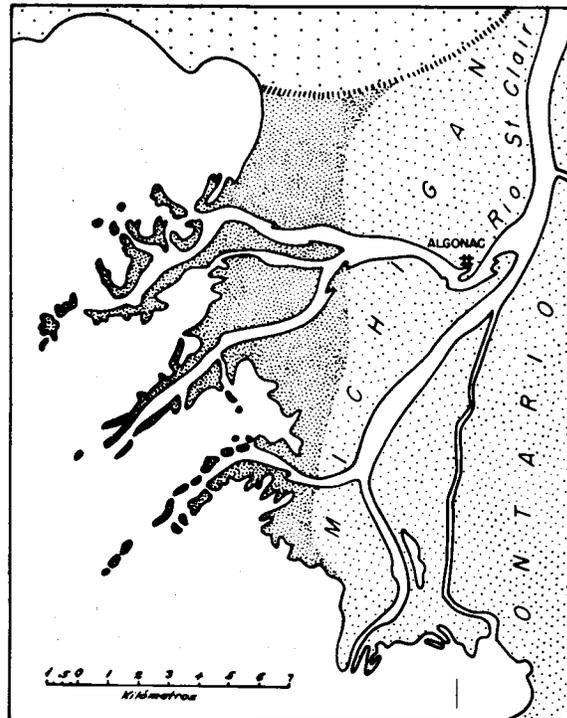


Figura 68

Delta de “pata de ave”, del río St. Clair, mostrando las antiguas y nuevas porciones del mismo. (Según A. K. Lobeck).

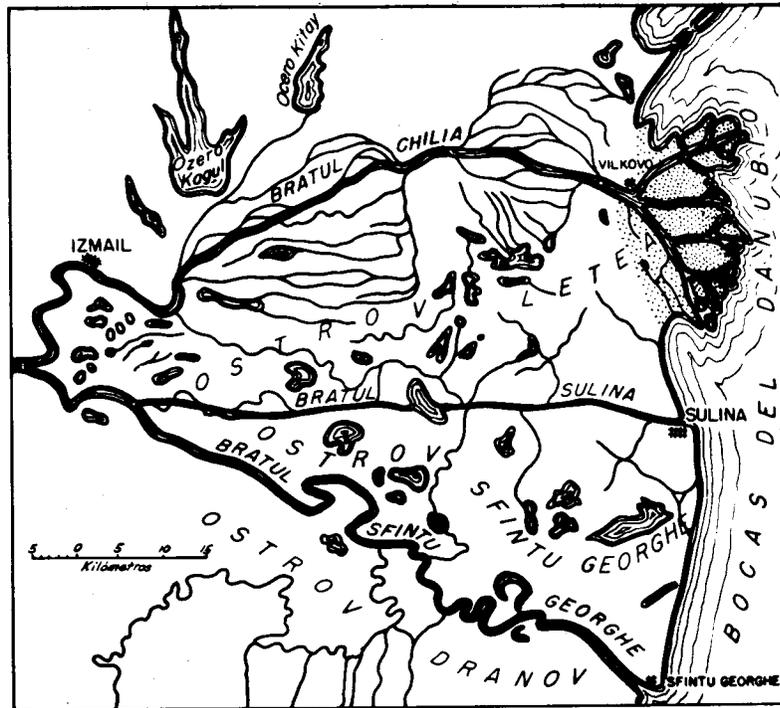


Figura 69

Delta del Danubio. El delta del río Danubio incluye una vasta área de tierras bajas entre sus dos principales tributarios, el Chilia que está constituyendo por sí mismo un delta subsidiario —al norte—, y el Sfintu Georghe, al sur. Nótese las lagunas, meandros —muchos de ellos fósiles— y canales trenzados. (Según F. J. Monkhouse, modificado).

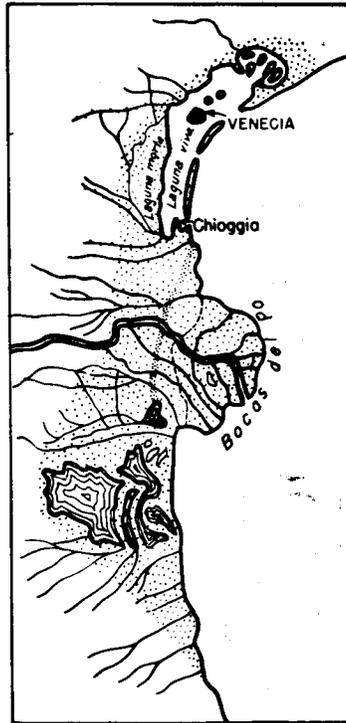


Figura 70

Delta del río Po.

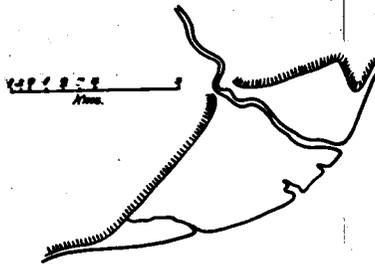


Figura 71

Delta redondeado del río Llobregat,
España. (Según M. Derruau).

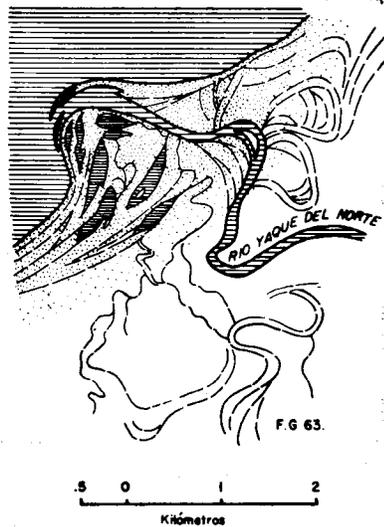


Figura 72

Delta arqueado del río Yaque del Norte, en la cuenca del Cibao, República Dominicana, mostrando la influencia de las corrientes marinas en la conformación de la barra del mismo. (Según F. Guerra Peña).

Ejemplos notables del tipo de drenaje "anular", se encuentran en el Weald, en Inglaterra, y en los Black Hills, Race Track y Red Valley, en los Estados Unidos, en los que se refleja la estructura de los domos erosionados. (Figs. 73-A y B).

F – *Trenzada.*

Se denomina corriente "trenzada" a aquella "que fluye en numerosos canales divididos, que se vuelven a unir, como los cabos o ramales retorcidos de una trenza, originando dicha división de los canales, el obstáculo causado por los sedimentos depositados por la corriente".

Caracteriza este tipo de corriente a las áreas planas, niveladas, sobre las que se desarrolla una intrincada red de canales superficiales, que integran una configuración compleja de fondo de valle.

El tipo "trenzado" –dice W. D. Thornbury (1954)– "está marcado por una serie de canales que se entrecruzan, separados unos de otros por islas o barras. Esta condición "trenzada" indica que una corriente fluvial se encuentra incapacitada para transportar toda la carga que contiene.

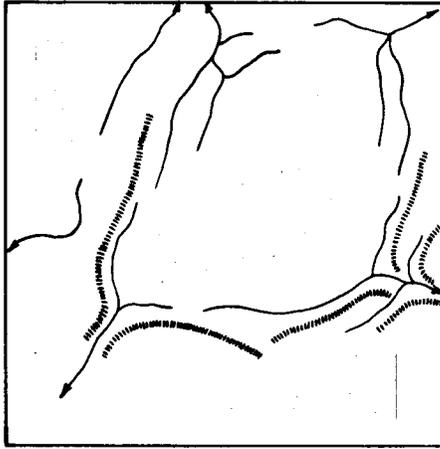


Figura 73-A

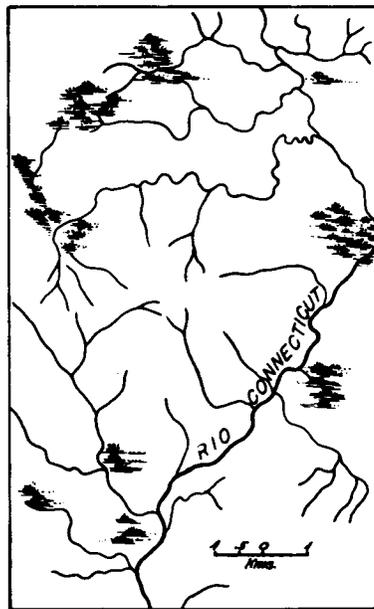


Figura 73-B

Fig. 73-A.—Drenaje de configuración anular, sobre un domo. Montes Turkey, Nuevo México. (Según A. K. Lobeck); Fig. 73-B.—Configuración de drenaje radial y anular, Averill, Vermont y Nuevo Hampshire. (Según A. K. Lobeck).

Se produce por una excesiva contribución de carga de la corriente principal, a causa de una súbita pérdida de gradiente, cuando la corriente desemboca de las montañas en las tierras bajas, con la consiguiente reducción de poder de transporte, o por pérdida de volumen a través de filtraciones, evaporación, o diversión”.

Por lo común, “los materiales depositados por una corriente “trenzada” son granulares, especialmente en las partes superiores de la corriente” (Merle Parvis, 1950). (Fig. 74).

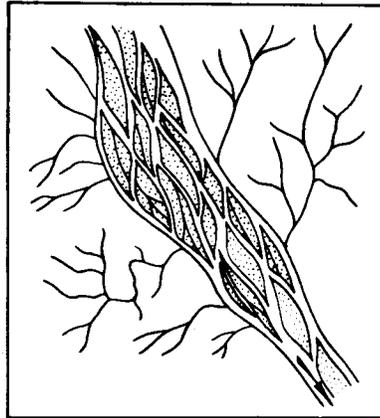


Figura 74

Configuración trenzada de drenaje.
(Según Merle Parvis y O. D. von Engeln).

G — *Kárstica*.

Esta configuración de drenaje se denomina también de “sumideros” —“resumideros”, en México; “sink holes”, en los Estados Unidos— y es la característica de áreas de estratos de caliza horizontales, cuya localidad típica es la región del “Karst” —o “Carso”, en italiano— de Yugoslavia.

Esta configuración de drenaje es en parte superficial y en parte subterránea, pues las pequeñas corrientes superficiales desaparecen o se sumen, en “sumideros” para continuar bajo tierra como corrientes subterráneas. (Fig. 75 A y B).

Cuando se derrumban las cavernas que, por disolución de las calizas originan las corrientes que penetran por los “sumideros”, se forman estanques o “dolinas”, denominados en Yucatán, “cenotes”.

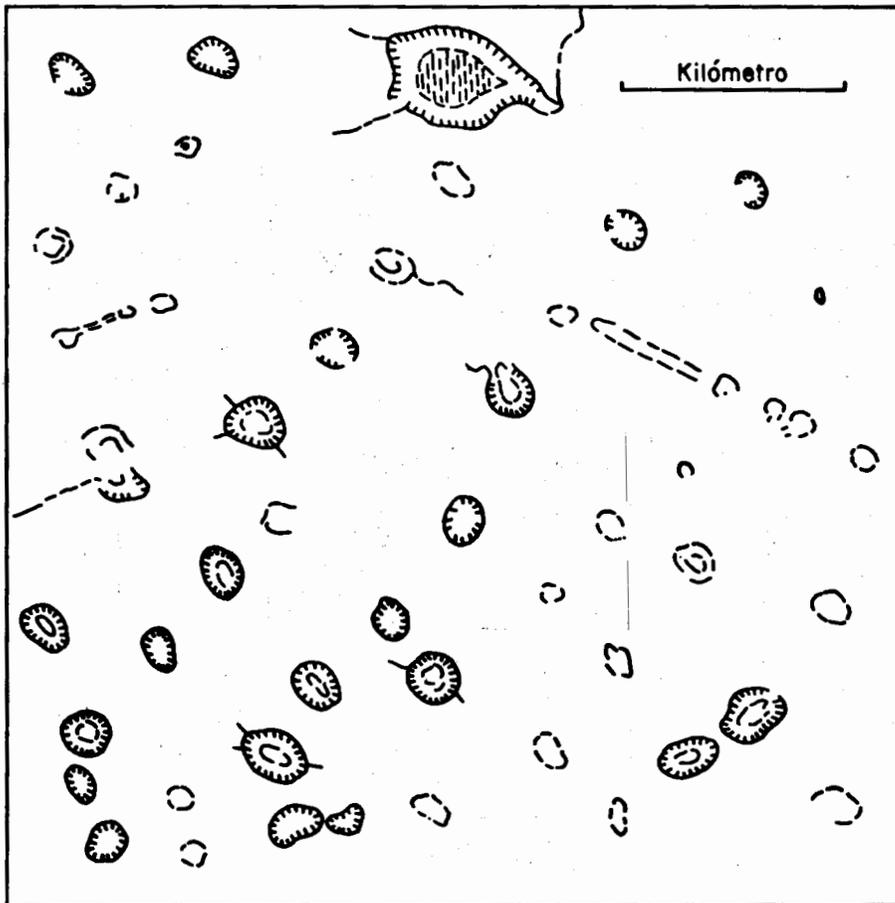


Figura 75-A

Configuración kárstica de sumideros o dolinas. Esta configuración kárstica de drenaje, denominada también de "sink-holes", se desarrolla en rocas solubles, como la caliza, yeso o dolomita. Los sumideros son, por lo general, de forma redondeada u ovalada. En la superficie solamente se desenvuelven rudimentarios canales. Arcilla residual rellena las cuencas poco profundas. (Según H. F. von Bandat).

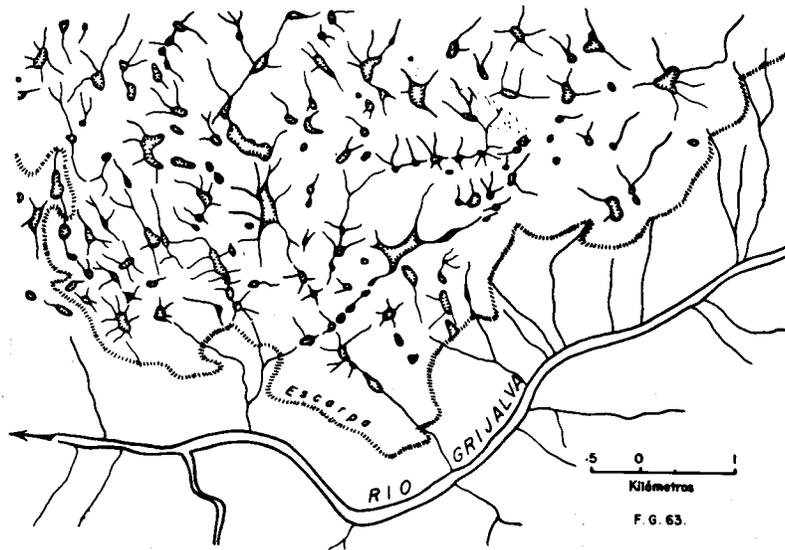


Figura 75-B

Drenaje de tipo kárstico en la margen derecha del río Grijalva, al NW de la población de Berriozabal, Estado de Chiapas, México, exhibiendo los "sumideros", que marcan las líneas de debilidad de las calizas. (Según F. Guerra Peña).

La configuración de drenaje "kárstica", común en las áreas de calizas macizas, debe denominarse "punteada", o de "puntos", en las zonas de topografía juvenil "kárstica" (Merle Parvis, 1950). En las áreas de "karst" maduro o senil, por el contrario, los "sumideros" y valles de solución —"uvalas" y "poljés"— dan lugar a un tipo de drenaje falto de sistema, porque se encuentra interrumpido por la desaparición de las corrientes debajo de la superficie.

El drenaje de esta configuración es tan típico, que por él se pueden identificar perfectamente y con seguridad completa, las áreas de calizas de tipo "kárstico", en las fotografías aéreas.

A — Anastomosada.

Ete tipo de drenaje es el que caracteriza a las llanuras de inundación. Los meandros de la corriente principal dan lugar a ciénagas, a fangales, a meandros fósiles, y a canales entrelazados.

2 — Configuraciones Desordenadas o Irregulares.

E. R. Zernitz (1932), considera a este tipo de configuración "como correspondiente a una fase en el desenvolvimiento del drenaje dendrítico". (Figs. 76, 77 y 78).

B - *Reticular.*

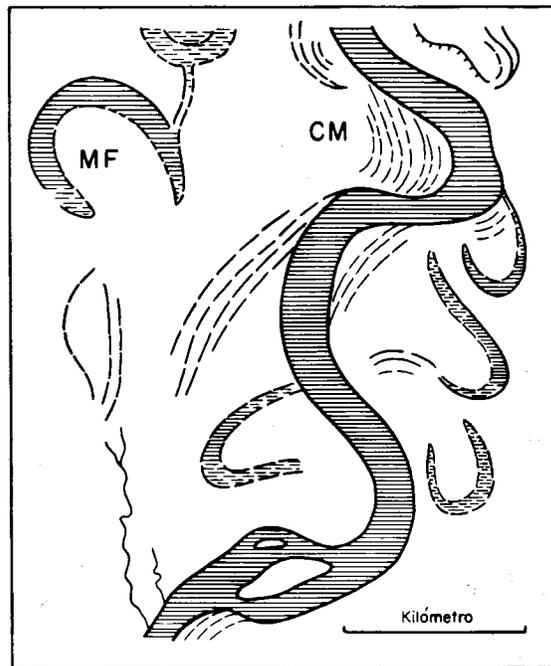
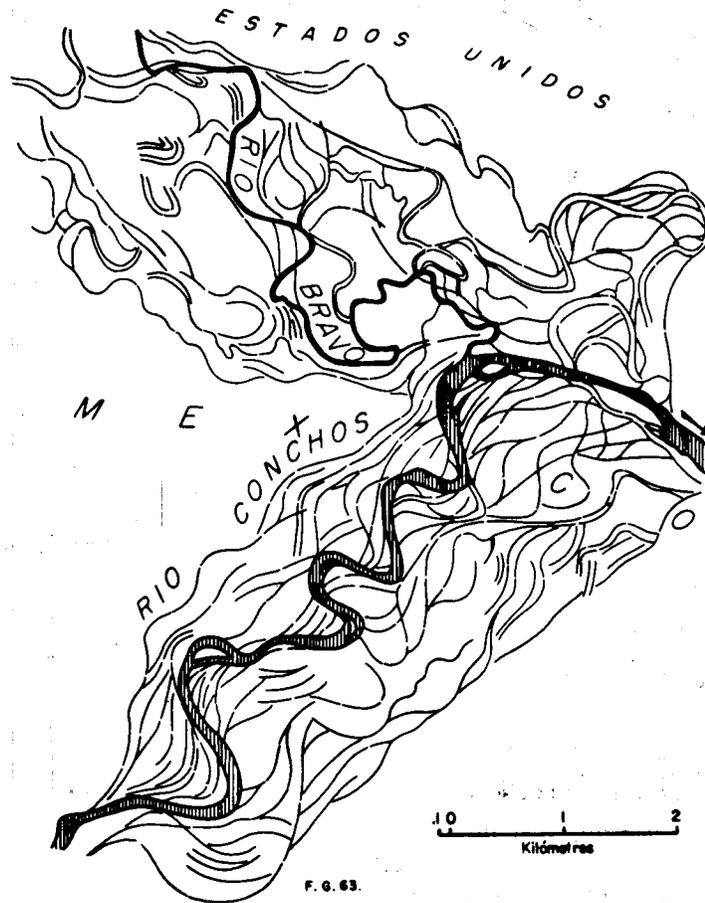


Figura 76

Configuración anastomosada de drenaje. En la corriente fluvial aparecen meandros y, en los canales abandonados, meandros fósiles (MF), y cicatrices de meandros (CM). A causa de los canales colaterales conmutables de inundación, se denomina a esta configuración "anastomosada". Este tipo es depositario y común a las llanuras de inundación. En parte, puede estar controlado por la estructura. (Según H. F. von Bandat).



F. G. 63.

Figura 77

Configuración trenzada-anastomosada de drenaje, típica de las llanuras de inundación, al confluir el río Conchos con el Bravo, en las inmediaciones de Ojinaga, Estado de Chihuahua, México. El río principal es el Bravo, pero su auge aparece de menor volumen que el del río Conchos, por el intenso aprovechamiento de su caudal para el riego en la zona fronteriza norteamericana. (Según F. Guerra Peña).

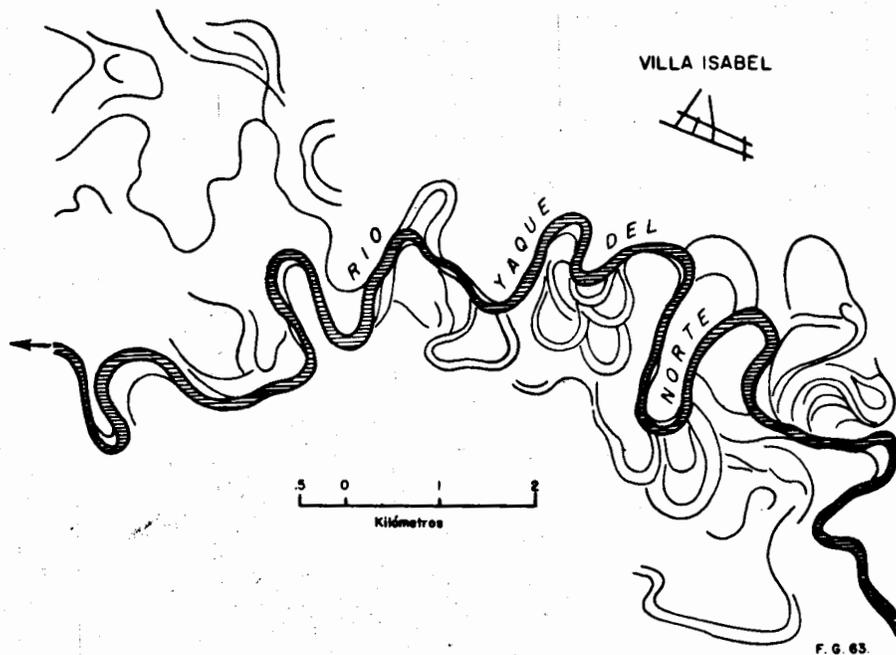


Figura 78

Configuración anastomosada del río Yaque del Norte, al sur de Villa Isabel, cuenca del Cibao, República Dominicana. (Según F. Guerra Peña).

Llamada así, y también “canaliculada”, por estar constituida por una red de numerosos canales fluviales —Merle Parvis, 1950— y “desordenada” o “desarreglada” —W. D. Thornbury, 1954— por componerla cursos de agua irregulares. (Figs. 79-A y B).

Es una variedad de la configuración “anastomosada”, pero se diferencia de ella por localizarse en llanuras costeras jóvenes y en áreas pantanosas litorales. Con la marea alta el agua marina fluye hacia estas zonas bajas, es decir, hacia tierra, a través de estos canales, y con la marea baja, sale por ellos de nuevo, hacia el mar. “Gran parte del área inter-fluvial es pantanosa y, con frecuencia, las corrientes fluviales, que tienen solo unos pocos tributarios, son meros conductos de agua, a través del área pantanosa” (W. D. Thornbury, 1954).

En realidad, este tipo es una configuración de “anabranches”, en la que las ramas divergentes de un río de una larga llanura costera, vuelven a confluir en la misma corriente.



Figura 79-A



Figura 79-B

Fig. 79-A.—Configuración desordenada del drenaje. (Según W. D. Thornbury);
 Fig. 79-B.—Configuración desarreglada o desordenada del drenaje, West Bend, Wisconsin. (Según O. D. von Engeln).

Genésicamente, esta configuración corresponde al tipo “desbordante” o de “inundación”, y de ella existen numerosos ejemplos en las costas del Golfo de México, como en las lagunas Madre, Tamiahua, Alvarado, Carmen, Términos, etc.

C — Retorcida.

En opinión de A. H. Katz (1948), esta configuración fluvial “constituye una respuesta a la estructura rocosa”. Las corrientes que fluyen en una dirección pueden invertirse en dirección contraria, cuando encuentran en su curso rocas o barreras resistentes. (Fig. 80).

D — Lagunar.

Forman esta configuración de drenaje pequeños lagos, esparcidos al azar sobre un área, sin orden ni concierto alguno. Los tributarios de tales lagos y lagunas, suelen ser del tipo “dendrítico”.

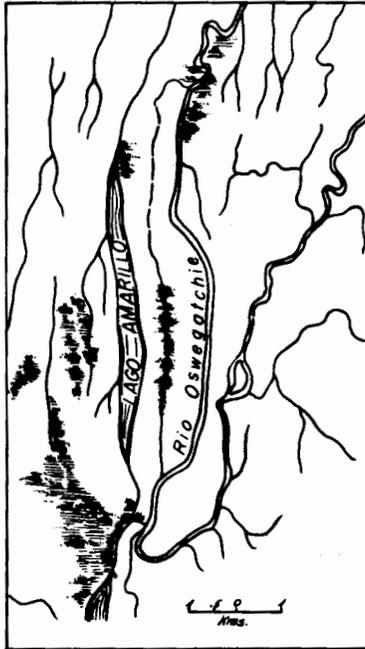


Figura 80

Configuración contorsionada o retorcida, Hammond, Nueva York. (Según O. D. von Engeln).

Caracteriza este tipo de drenaje a las cuencas cerradas, donde existe un substrato impermeable, y donde el ciclo de erosión es todavía muy joven.

Ejemplos de esta configuración existen en abundancia, tanto en los Estados Unidos, como en México, etc.

E – Errática.

Conocida igualmente con las denominaciones de “casual”, “fortuita” o “desordenada”, a causa de las grandes irregularidades de su forma, y por su confusa interferencia en áreas de lagos, lagunas, pantanos y ciénagas, y de grandes valles abiertos.

Esta configuración es característica de las regiones bajas cubiertas por materiales de acarreo. En ellas, el agua del escurrimiento se acumula en los mencionados receptáculos, y las corrientes divagan sin rumbo por el paisaje, mostrando el carácter sin desarrollar del drenaje. Cuando éste

llega a lograr algún desenvolvimiento, suele adoptar la configuración "dendrítica".

Como la configuración "reticular", a la que se parece, pero de la que la diferencia el que ésta se localiza en las zonas costeras bajas, mientras que la "errática" puede ser interior, genéricamente corresponde al tipo de "inundación" o "desbordante".

F – Compleja.

En determinados casos, "el sistema de drenaje muestra tales variantes entre sus componentes, que sólo puede calificarse como "complejo". Esta configuración tiene lugar en áreas de complicada estructura geológica y de compleja historia geomorfológica" (W. D. Thornbury, 1954).

Se incluye en esta categoría, el drenaje de algunas partes de áreas de reciente glaciación, pero el carácter distintivo es la total ausencia de control estructural o de afloramientos rocosos. El drenaje pre-glacial ha sido barrido, y el nuevo drenaje no ha tenido tiempo de desarrollar ningún grado significativo de integración.

G – Anómala.

Esta configuración corresponde al sistema irregular general de un área de drenaje, formado por la combinación de diferentes configuraciones fluviales de regiones vecinas, pero de distintos tipos de topografía.

Este sistema denota la existencia de diferentes clases de materiales en el área.

H – Fantasma.

Caracteriza a las filtraciones en suelos sueltos sin consolidar, de grano fino y bien drenados, pero de subsuelo impermeable.

El drenaje constituye una red indistinta, confusa, caliginosa, parecida a una tela de araña.

3 – Configuraciones de Tipos Especiales.

A – Yazoo.

Constituye un tipo muy especial y corresponde a sistemas de drenaje mayores que los hasta ahora descritos. "Se debe este tipo a la incapacidad de los tributarios para romper a través de las márgenes elevadas de las corrientes mayores. Se localiza, por lo tanto, en las llanuras de confluencia, en las que los tributarios se unen antes de confluir con las corrientes mayores, y se desarrolla en las partes bajas de depósitos aluviales" (Merle Parvis, 1950).

Al fenómeno mencionado se le designa con el nombre de "unión re-

trasada de tributarios", y se produce "cuando las corrientes fluviales elevan sus cursos sobre el nivel de sus llanuras de inundación, y sus tributarios no pueden unírseles. Entonces suelen fluir los tributarios a lo largo de los lados de la llanura de inundación, hasta que alcanzan, en algún punto más adelante, a la corriente principal, aguas abajo, donde ésta golpea contra el muro", (A. K. Lobeck, 1939), hasta que se abre una vía y por ella se conectan.

Como ejemplo típico se ha tomado el del río Yazoo, y de esta manera, los tributarios que fluyen durante alguna distancia siguiendo un curso paralelo al del río mayor, se denominan "ríos Yazoo" (Fig. 81).

Ejemplos de "ríos Yazoo" abundan en México, en el Estado de Tabasco principalmente, así como en la parte meridional de Veracruz. El río típico, el Yazoo, es afluente izquierdo del Mississippi, con el que se une a la altura de Vicksburg.

B - *Cubeta glaciárica*.

Está constituido este tipo de drenaje, por series de depresiones espaciadas al azar, con alguna ocasional cuenca llena de agua (Merle Parvis,



Figura 81

Configuración de drenaje tipo "Yazoo". Cuando las aguas superiores del río Yazoo entran en la amplia llanura de inundación del Mississippi, siguen un antiguo curso fluvial de 280 kilómetros, a lo largo de acantilados, antes de confluir con el gran río (Según V. C. Finch y G. T. Trewartha).

1950). El más corriente es de origen glaciárico, al igual que la configuración "lagunar", la de "cubeta glaciárica" (kettle hole), es de tipo de cuenca cerrada, pero exige para formarse la presencia de un substrato poroso.

Es el tipo que se localiza en las morrenas granulares y en las llanuras glaciáricas de arrastres estratificados. Individualmente, los sistemas de drenaje pueden adoptar la forma "dendrítica".

El proceso de su formación, lo describe W. B. Wright (1914), diciendo que, "una característica de dichas fajas —morrenas de kettles— es la presencia de cubetas aisladas, conocidas como "kettles gigantes", que contienen agua y forman un estanque o ciénaga, sin aliviadero superficial. Se supone generalmente, que han sido formadas por la inclusión en la morrena de masas de hielo, las que al fundirse subsiguientemente dejan una oquedad, aunque también resulta claro que la irregular distribución de crestas y depresiones, producidas por la acumulación de los despojos o escombros, inevitablemente deberá originar la formación de "cubetas", entre ellos.

En un sentido más amplio, estos "kettles" son cavidades redondeadas, de paredes casi verticales o muy pendientes, que se pueden localizar en las orillas de los ríos, en los lechos de los mismos, o en depósitos de arena o de grava, pero más particularmente en los de origen glaciárico, que es a los que se refiere este tipo especial de configuración de drenaje que, por ello, se denomina de "cubeta glaciárica".

C — *Termokárstica.*

Se llama así esta configuración, por "ser su topografía semejante a la kárstica, como consecuencia de fundirse el hielo del subsuelo y consiguiente acomodamiento de huecos o cavernas en el suelo" (S. W. Muller, 1947).

Es un tipo propio de suelos permanentemente congelados y, así como por sus efectos es natural, por sus causas es artificial, puesto que este tipo de drenaje se forma, por lo corriente, "como resultado de incendios de bosques y de praderas, desforestación, y explotación agotadora de la superficie por el hombre, con el resultado, cuando ello es posible, de un calentamiento solar más intenso del suelo. A su vez, la fusión del hielo del suelo causa oquedades cavernosas y hoyos en el mismo, y grietas o resquebrajaduras superficiales. Las hendiduras superficiales producidas por los procesos "termokársticos" se diferencian de las originadas por la congelación, por ser más anchas, profundas y largas, y perdurar a través del invierno. Las grietas del hielo se forman en invierno y se cierran en verano, mientras que las "termokársticas" se forman en el verano" (R. C. Sager, 1951).

Los rasgos principales de este sistema de drenaje, en parte superficial y en parte subterráneo, como el "kárstico", son: grietas superficiales, desplomes, embudos, sumideros, lagunas someras y depresiones poco profundas; valles, cárcavas, barrancas, cuencas superficiales; lagunas subterráneas, ventanas y estanques de hundimiento.

La palabra "termokárstico", acuñada por los autores norteamericanos y ampliamente usada por los rusos, lo es poco entre los especialistas ingleses (L. Dudley Stamp, 1961).

D - *Espoloneada*.

Es la configuración resultante del proceso de "piratería fluvial". Las ramas de la corriente tributaria capturada o "decapitada", forman ángulos obtusos con relación a la corriente captora, es decir, especie de espolones o de ganchos de bichero, de donde procede el nombre con que se la designa, equivalente, también, a "calcarada".*

"Los tributarios —dice (R. S. Tarr, 1908)— confluyen en la corriente principal con dirección aguas arriba, en vez de hacerlo aguas abajo, como es lo normal". Esto hace que, después de la captura, la corriente captorante tenga afluentes con disposición normal en el sector primitivo o propio, y afluentes con disposición inversa en el sector capturado, lo que produce una disposición en todos sentidos de los capturados, como si fuera un alambre de púas, de donde procede otra de las denominaciones con que se la conoce: "barbada" (Fig. 82).

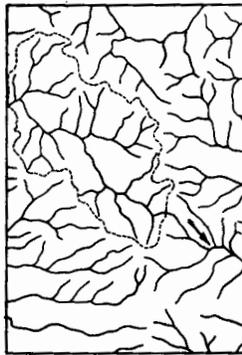


Figura 82

Configuración espoloneada, Prestonburg, Kentucky. (Según W. D. Thornbury).

* Del latín "calcar, calcaris", espuela.

Esta configuración de drenaje invertido tiene un alcance local y se produce en las cabeceras de las corrientes o sistemas de drenaje, o cerca de ellas.

Aunque la mayoría de estas corrientes se origina por efecto de la "captura fluvial", pueden también producirse por hundimiento o inclinación del terreno, o ser causadas por fenómenos glaciáricos, pero siempre con la consiguiente reversión de un sistema separado de drenaje o de parte de él (Figs. 83-A y B; 84; 85-A y B).

E - Elíptica.

En la llanura costera del Atlántico, en los Estados Unidos, se denomi-

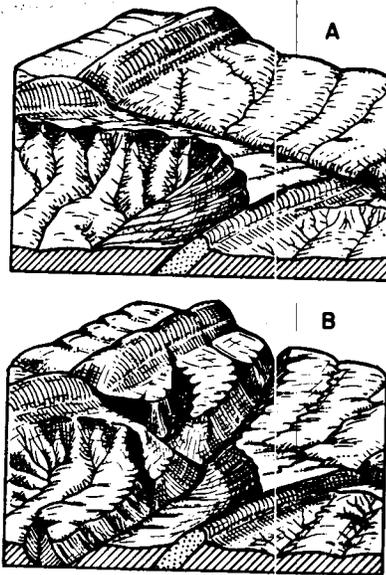


Figura 83-A, B.

Diagrama mostrando la captura de la cabecera de una corriente transversal por la tributaria subsecuente de otra. En la etapa representada por el dibujo A, la captura es inminente, mientras que en la etapa representada por B, la captura ya ha tenido lugar. (Según C. A. Cotton).

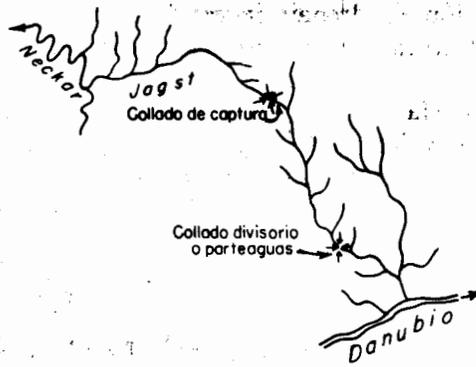


Figura 84

Captura de subafluentes del Danubio, por un afluente del Neckar. (Según P. Macar).

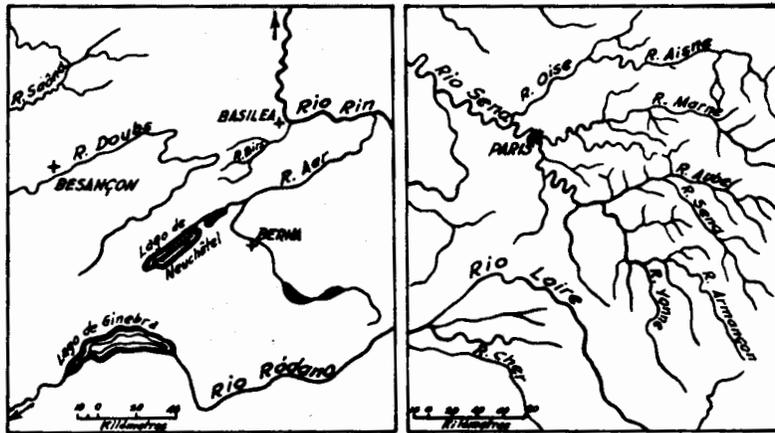


Figura 85-A, B

Dos ejemplos de captación fluvial en el este de Francia. (Según F. J. Monkhouse); Fig. 85-A.—El río Doubs superior fluía antiguamente hacia el Rin, pero fue capturado y fluye ahora hacia occidente, a partir de un agudo codo de captura, con dirección a Besançon, hasta el Ródano. El tronco decapitado constituye actualmente el pequeño río Birs.—Fig. 85-B.—Mapa exhibiendo la complicada configuración enrejada de drenaje de la cuenca de París. El Loira superior fluyó en un tiempo hacia el norte, pero fue capturado por un río que fluye hacia el oeste. El Yonne, Armançon y Aube fueron a su vez capturados por el Sena.

na "bay" o "pocosin" a "un área cubierta por lo general de vegetación pantanosa, sostenida por depósitos de turba. También se designan con tales nombres en algunas áreas, a lagunas superficiales, con los bordes pantanosos llenos de turberas" (W. F. Prouty, 1952). Estas "bays" tienen forma elíptica, en muchos casos, perfecta (A. K. Lobeck, 1939), y pueden ser "simples" o "múltiples".

Se extienden a lo largo de la costa atlántica, desde el NE de Florida hasta New Jersey, principalmente en las dos Carolinas y en Georgia, y su número se ha calculado, aproximadamente, en medio millón, con tamaños que oscilan entre unos pocos cientos de metros de longitud, hasta más de diez kilómetros. De su abundancia en las Carolinas han recibido el nombre de "Carolina Bays". (Figs. 86-A, B, C y D).

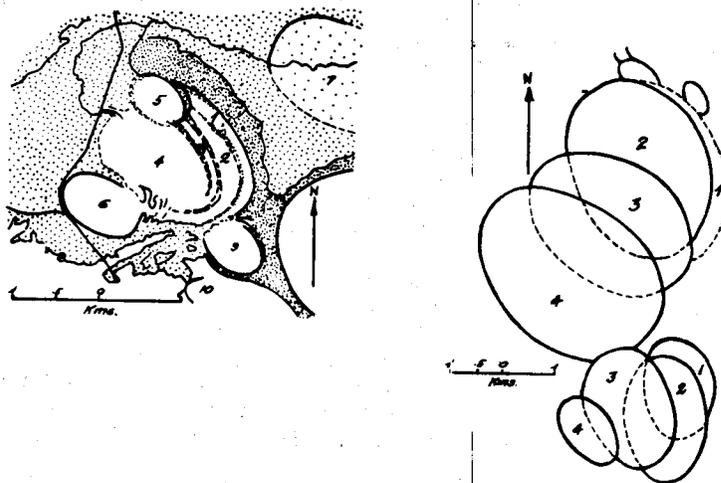


Figura 86-A y B

Fig. 86-A.—"Bays" múltiples en el condado de Atkinson, Georgia. El grupo formado por las cuatro mayores "bays" en el área, mide unos cinco kilómetros de longitud, contados a través de la depresión formada por las cuatro unidades elípticas que se recubren. Directamente al sur se encuentra otro grupo, formado también por cuatro "bays" pequeñas, igualmente sobrepuestas; Fig. 86-B.—"Bay" múltiple en el condado de Allendale, Carolina del Sur. Esta "bay" múltiple se encuentra formada por seis unidades que se recubren, numeradas en el dibujo de la más antigua a la más moderna. Cada "bay" sucesiva en la numeración, o más joven, suele ser de tamaño menor que sus precedentes. La número 3 tiene rebordes u orillas secundarios; la número 4, uno secundario; y, las demás sólo tienen rebordes primarios.

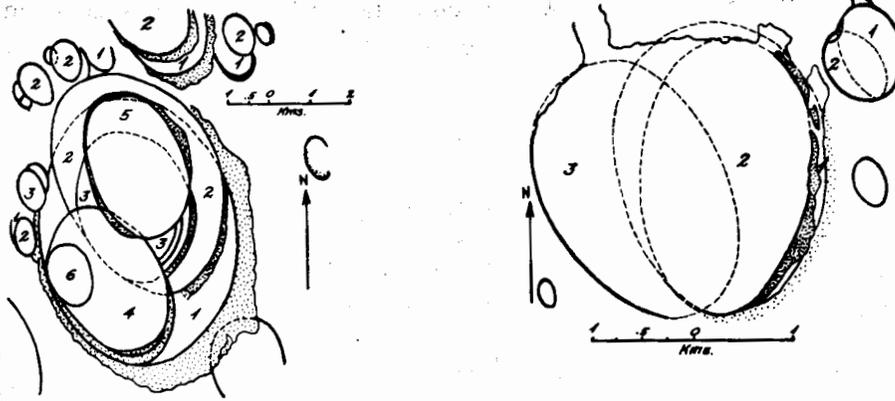


Figura 86-C y D

Fig.—86-C.—“Bay” múltiple en el condado de Cumberland, Carolina del Norte. La mayor “bay” múltiple, cerca del centro, está formada por varias unidades superpuestas. Las numeradas del 1 al 4, son de tamaño decreciente, y se han ido recubriendo sucesivamente hacia el oeste y ligeramente hacia el norte. Su génesis se explicaría por haber sido formadas por el impacto de cuatro meteoritos en “tandem”, al incidir en rápida frecuencia sobre la superficie de la Tierra, girando hacia el este. Las “bays” 5, 6 y 9, constituyen impactos aislados y sin relación entre ellos. La múltiple “bay” 1-4 ha sido parcialmente rellenada por acarreo transportado desde el oeste; Fig.—86-D.—“Bay” múltiple en forma de corazón, en el condado de Atkinson, Georgia. Esta gran “Bay” tiene más de tres kilómetros en sus dimensiones N-S y E-W, y está formada aparentemente por tres unidades superpuestas, la primera de las cuales es ligeramente mayor que las otras dos y forma el reborde occidental. La unidad entera se encuentra parcialmente rellena de agua, procedente del norte. Las tres “bays”, a 3, tienen mayor recubrimiento hacia el sur que hacia el norte, por tender sus ejes a converger hacia el sur. Hacia el NE aparece otra “bay” múltiple compuesta de dos unidades. (Las cuatro figuras, según W. F. Prouty).

Un gran porcentaje de estas “bays” se extiende siempre en la misma dirección en un área dada, y lo mismo ocurre con respecto a su eje longitudinal. Forman depresiones bajo el nivel general del suelo circundante, con bordes arenosos muy bien definidos que sobresalen de dicho nivel. En general, su extremo SE, es el más profundo.

Hasta ahora no se había encontrado relación alguna entre estos notables y enigmáticos rasgos, y la topografía o la geología, “pese al acabado estudio de las fotografías aéreas del área entera y de las limítrofes, no obstante lo cual, dicho estudio ha sido “de grandísima ayuda” (W. F. Prouty, 1952), en el correcto planteamiento del problema que las mismas suscitan. Puede decirse que, sin fotografías aéreas, no hubiera sido

posible el análisis de la configuración de estos rasgos, especialmente en los casos de múltiple superposición. Cuando dos o más "bays" se superponen, dan origen a una configuración de "corazón".

Así estaba el problema hasta hoy, en que, afortunadamente, la posibilidad de disponer en la actualidad de imágenes espaciales, ha aclarado el origen de las "Carolina Bays", pues muestran que se trata evidentemente de cicatrices producidas por impactos de meteoritos, tal y como aparecen, no solo en otros muchos lugares de la superficie terrestre, sino en las de los demás planetas internos del sistema solar, lo que explica perfectamente el fenómeno de superposición de estas huellas. Esta teoría, llamada por ello, "meteorítica", ya fue mantenida anteriormente, entre otros, por F. A. Melton (1934), W. Schriever (1933) y F. Guerra Peña (1976).

Por ser interesantes, se describen a continuación algunas de las hipótesis sostenidas sobre el origen de las "carolina Bays":

a) Acción del viento y de las corrientes marinas: Estos dos agentes habrían formado barras de arena en forma de media luna, especialmente por la acción de fuertes vientos dominantes del SE, a través de las embocaduras de bahías costeras poco profundas. Una variante de esta hipótesis es la que las atribuye a depresiones circundadas por pliegues de marea fósil (ripple marks). No obstante, en muchos casos, las "bays" se encuentran en tierras altas y, en otros, se hallan superpuestas a lagunas y a crestas de playas, según revelan las fotografías aéreas. C. W. Cooke, 1933, 1934, 1936 y 1940, fué el principal sostenedor de esta idea.

b) Solución: Sugerida esta hipótesis por D. W. Johnson (1936), según la cual, "las "bays" son esencialmente el producto, directo o indirecto, de la solución; y los rebordes, acumulaciones de arena arrastrada por el viento". La principal objeción consiste en que otras muchas áreas susceptibles de semejantes fenómenos de solución, no tienen "bays".

c) Fuentes artesianas y acción de aguas subterráneas: Propuesta por D. W. Johnson (1942). El agua brotaría en el centro potencial de uno de estos rasgos, acumulándose la arena fina en los bordes, a quienes se atribuye el sentido del alargamiento, siguiendo rumbo abajo, y formándose posteriormente "sumideros". Innumerables son las objeciones, entre ellas la de que, habiéndose formado en el Pleistoceno —todas ellas se encuentran sobre terrazas superficiales del Pleistoceno— no hay razón para que no sigan formándose ahora, cosa que no ocurre, y la de que dándose las mismas condiciones geológicas en Alabama y en Florida, por lo que respecta a tipos de rocas y condiciones del agua subterránea, no tiene "bays", sin embargo, dichas áreas. Por otra parte, los "sumideros" típicamente carecen de rebordes.

d) Corrientes rotatorias: Hipótesis sostenida por C. W. Cooke (1940), según la cual, las "bays" se originarían por la acción de corrientes rotatorias en cuerpos de agua, por la tendencia de girar dichas corrientes, en el hemisferio septentrional, en forma elíptica, cuando los ejes mayores son N 45° W. Pero muchas "bays" se desvían en sus ejes más de 20° de dicha dirección y, además, esto no explicaría la limitación geográfica y geológica de dichos rasgos.

e) Acción del viento y de las mareas sobre barrancas submarinas formadas en áreas costeras, temporalmente inundadas por el mar: Sugerida por F. A. Melton (1934). Se objeta principalmente, que la mayor parte de las "bays" se encuentran demasiado bien preservadas para haber sufrido la mejor erosión, por parte de las olas o corrientes marinas.

f) Actividades de bancos de peces. Constituye una hipótesis posterior a las anteriores, propuesta por Chapman Grant (1945), que las atribuiría a tales actividades al desarrollarse en áreas cercanas a fuentes artesianas de agua dulce, próximas a la costa. El tamaño de las "bays" dependería del tamaño de los peces y de los cardúmenes y, su dirección, de los vientos y corrientes, principalmente de las fuentes artesianas dominantes, causa directa de la desovación. Entre las objeciones figura, la de que semejante fenómeno no se ha producido en ninguna otra parte del mundo y, la de que el agua dulce, por su menor densidad quedaría sobre la salada, de donde resulta que los peces no podrían buscarla en el fondo de las "bays", etc.

g) Glacial: Sostenida por Merle Parvis, 1950, según la cual se habrían formado cavernas durante las épocas glaciales, en el suelo permanentemente congelado, en sedimentos sin consolidar de arena fina. No obstante, resulta difícil admitir fenómenos de glaciación tan meridionales.

h) Múltiple: El origen múltiple de las "bays" es la hipótesis que predominó durante cierto tiempo, y así, A. K. Lobeck (1939) supuso que se debían principalmente, "a la disolución y a la circulación subterránea, modificadas en cierto modo por corrientes lacustres y la acción del viento".

i) Meteorítica revisada: Expuesta por W. F. Prouty (1952). El origen meteorítico explicaría la limitación en el tiempo y en el espacio, de las "bays" y, si bien su tamaño en muchos casos es mayor que el de los más grandes cráteres conocidos de dicho origen, ello sería el resultado, no del impacto, sino de la explosión del meteorito sobre sedimentos sin consolidar, lo que removería mucho más material que el meteorito mismo. Por otra parte, los reconocimientos magnetométricos llevados a cabo en dicha área, han dado favorables resultados en relación a la teoría meteorítica revisada, ya que todas las anomalías magnéticas aparecen localizadas en posiciones lógicas con relación a las "bays".

II – CONFIGURACIONES ARTIFICIALES DEL DRENAJE.

1 – Rectilínea.

Corresponde esta configuración a las obras que el hombre hace para avenar o drenar áreas niveladas, como zanjas o acequias. Estos canales, claramente rectilíneos, siguen por lo regular depresiones topográficas, aunque también con frecuencia “no siguen la configuración del suelo o de la vegetación” (A. J. Eardley, 1941).

A veces, han sido tan degradados estos conductos, que los que se encuentran en un nivel más bajo, son atravesados por el drenaje natural, con que vienen a formar una configuración de bloques rectilineares.

Aunque esta disposición del drenaje es artificial, no debe confundirse con la configuración formada por acequias o canales de irrigación, que corresponde al tipo “distributivo” (Merle Parvis, 1950).

B – Ilusoria.

Se observa ocasionalmente este tipo de configuración en terrenos bajos y porosos, ya desaguados o drenados por medio de tuberías. Aunque el drenaje sea subterráneo, la red de tubos es frecuentemente perceptible en las fotografías aéreas, a causa de que el suelo situado sobre las tuberías se deseca, delatando la cañería con una línea casi blanca en su imagen fotográfica —algo así como si se vieran con Rayos X— líneas que corresponden a los conductos troncales y a los laterales paralelos.

Esta configuración puede “desvanecerse”, hasta desaparecer totalmente, a medida que todo el suelo se va secando, y es engañosa, pues puede confundirse con otras conducciones subterráneas, como de cables telefónicos, o con líneas férreas abandonadas, etc.

Se expresa gráficamente por medio de líneas cortadas.

d) *Análisis de la configuración regional del drenaje.*

La configuración del drenaje puede utilizarse igualmente para ayudar a la identificación de las condiciones naturales o físicas de una región, considerada en su totalidad, lo que se obtiene mediante la compilación de datos, procedentes tanto del análisis individual de las corrientes fluviales, como de las diversas configuraciones del drenaje que integran la red fluvial regional.

Esta compilación de datos arrojará, no solo la suma de los que se deriven de las unidades estudiadas, tanto individuales como colectivas, las cuales se podrán correlacionar entre sí, sean o no colindantes, sino datos nuevos originados por la interpretación, en conjunto, de los ya conocidos y analizados separadamente, los cuales pueden ser de la mayor importancia, por la gran extensión superficial que puede alcanzar una uni-

dad regional para cuyo análisis resulta factible el empleo de métodos estadísticos. Por otra parte, es en el ámbito regional, donde se lleva a cabo la evaluación cuantitativa, de suelos, rocas, y estructuras rocosas grandes, mientras que la evaluación cualitativa es más propia de los análisis de las corrientes individuales y de los sistemas de drenaje considerados separadamente unos de otros. En definitiva y, como puede verse, los estudios cualitativos tienen la principal misión de preparar los cuantitativos, de los que se derivarán las deducciones más valiosas y trascendentales, en relación con la naturaleza de la estructura materialmente visible y de la subestructura invisible, pero reflejada en aquélla, de la región entera.

Juegan importantísimo papel en el análisis de la configuración regional del drenaje, por su posibilidad de cuantificación, y el amplio horizonte que abren a esta clase de estudios, los dos factores del drenaje constituídos por la "textura" y la "densidad".

Ambos factores, solo son cuantificables de un modo correcto y positivo, estudiándolos sobre las fotografías aéreas, pues de otro modo escapan a la observación humana, aún utilizándose los mapas más exactos y detallados, como se verá a continuación.

e) *Textura del drenaje.*

En efecto, para analizar la "textura del drenaje", son imprescindibles las fotografías aéreas, porque sólo en ellas se pueden apreciar los micro-rasgos del mismo, que son los que dan carácter a las diferentes texturas.

Conviene aclarar aquí, al tratar de la "textura del drenaje", siguiendo el consejo de W. D. Thornbury (1954), que cuando se habla de "configuración del drenaje", en realidad lo que se considera son las "relaciones espaciales" entre corrientes vecinas, como ocurre, por ejemplo, con la configuración "radial", la cual tiene dicha forma por referencia de unas corrientes con otras, ya que, cada una de ellas, independientemente de las demás, puede ser "dentrítica" o "pinada". Estas "relaciones espaciales" se concretan especialmente en los tributarios y constituyen la "textura del drenaje", la cual puede ser, también como ejemplo, "fina" si los tributarios se encuentran estrechamente espaciados, o "tosca", si se hallan, por el contrario, muy separados.

H. F. von Bandat (1962), especifica al efecto que, "una configuración estrechamente espaciada, se localizará en rocas impermeables, blandas o quebradizas, como arcilla, lutita, loess, pizarras y esquistos frágiles. Las configuraciones "toscas", ampliamente espaciadas se relacionan con rocas de alto drenaje interno, como areniscas, terrazas granulares o de grava, o mantos arenosos. Por otra parte, rocas macizas, duras y resistentes como el granito, exhibirán una textura "tosca" cuando se encuentren

tectónicamente sin alterar. En resumen, dicho autor establece que la “espaciación máxima” aparece en rocas duras y homogéneas, con resistencia uniforme a la erosión, como ocurre con las metamórficas, especialmente en las serpentinas; que la “espaciación media” se produce en areniscas permeables; y, que la “espaciación mínima” se manifiesta en las lutitas finas, arcillas, y como ramificación máxima, en el “mal país”.

Este “espaciamiento de las corrientes, según O. D. von Engeln (1949), “dependerá, en parte, en las corrientes consecuentes, de la disposición de las irregularidades del relieve inicial y, en parte, de la permeabilidad de los materiales superficiales. Si éstos son muy permeables, gran parte de la precipitación total seguirá un curso subterráneo por alguna distancia. Las corrientes consecuentes se espaciarán entonces, lejos unas de otras, con pocos tributarios, dando lugar a una “textura de drenaje” grosera o burda (Fig. 87-A y B).

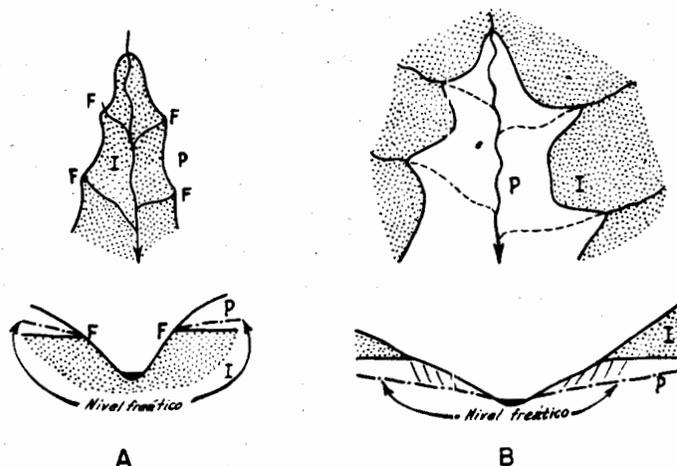


Figura 87-A y B

Fig. 87-A.—Paso de un río, de terreno permeable, P, a terreno impermeable, I, (F = Fuentes); Fig. 87-B.—Paso de un río, de terreno impermeable, I, a terreno permeable, P. (Según P. Macar).

“Es muy importante la “textura del drenaje” —dice B. A. Tator, 1954— como clave para la determinación aproximada de los “límites” o “contactos” de las formaciones, facilitando casi el único medio para el análisis estratigráfico de determinadas áreas; así, la arcilla da lugar a una “textura de drenaje”, más fina que la de la arena, etc.

Según H. T. U. Smith (1943), es muy importante para la determinación de la "textura del drenaje", el análisis del mismo en las áreas consideradas, estableciendo si están o no bien drenadas, o si el drenaje es superficial o subterráneo o, en fin, si figura incluido totalmente en la zona en cuestión o, solo en parte, como tramo o sector del drenaje que únicamente atraviesa el área.

Así como el análisis de las corrientes fluviales individuales y de las configuraciones sistemáticas del drenaje se refiere a los rasgos megascópicos del mismo, o drenaje megascópico, la "textura del drenaje" se refiere a los rasgos microscópicos, drenaje microscópico o micro-drenaje, formado por los micro-rasgos del drenaje.

"Son numerosos los micro-rasgos relacionados con el drenaje, manifiesta D. J. Belcher (1959), y sirven para una amplia variedad de objetos. La "grava", por ejemplo, se puede distinguir de la "arena", por el sistema de drenaje vertical. La arena absorbe el agua directamente, en el sentido de que cada gota se embebe en ella. La grava, por el contrario —en terrazas, por ejemplo, y en llanuras glaciáricas —concentra el agua en llanuras poco profundas y éstas, entonces, la filtran dentro del terreno. La razón de esto es que una mezcla de grava contiene una amplia proporción de minerales entre sus fragmentos. Algunos de éstos intemperizan la arcilla y dan lugar a una sobrecarga de arcilla arenosa que, comparada con la arena, es varios grados menos permeable. Esta capa intemperizada activa la concentración de agua. . . En la deposición de estas gravas, corrientes violentas dejan cicatrices o canales localizables en la superficie, que ahora sirven de cuencas de infiltración, fácilmente observables en las fotografías aéreas, cuando el ojo del observador y su cerebro se encuentran adiestrados por la experiencia para registrar estos micro-rasgos, que raramente pueden ser reconocidos como tales, en el terreno. Las arenas no poseen esa condición, a causa de su, comparativamente, mayor resistencia al intemperismo y a la consiguiente formación de arcilla; y, como los vientos soplan la arena, obliteran las cicatrices de las corrientes que pudieran haber existido".

Las "arenas superficiales" que sobreyacen a arcillas —sigue diciendo el mismo autor— poseen un tipo distintivo de configuración, que corresponde a líneas de movimiento de agua subterránea. En la gruesa terraza arenosa de Goose Bay, en Labrador, trazos muy bien definidos en la vegetación de la superficie, proporcionan una línea precisa de la huella de un gran volumen de agua fluyendo setenta pies debajo del suelo".

"Las filtraciones de las laderas de los cerros constituyen otra forma de drenaje que no se ha considerado lo suficiente, por lo general, como para figurar en los mapas. Esta es una micro-forma que facilita gran ayuda en la localización de estratos, contactos, y otros rasgos estructurales

que, de otro modo, permanecerían desconocidos. No es necesario que el manantial sea visible, porque la vegetación indica su presencia". Y, en efecto, este dato tiene un valor práctico extraordinario, que debe figurar sin excusa alguna en los mapas preliminares de interpretación fotogeológica, por la gran ayuda que puede prestar al técnico de campo, al realizarse la verificación "in situ", de dichos datos.

f) *Densidad del drenaje.*

La "densidad del drenaje" la definen R. G. Ray y W. M. Fischer (1960), como "la longitud total de las corrientes fluviales dentro de un área, dividida por el área".

En estudios preliminares realizados para obtener la posible significación de la "densidad del drenaje", con relación a la litología, midieron dichos autores la longitud simple de las corrientes, sobre las fotografías aéreas, así como el área, utilizando para lo primero un curvímetro o cartómetro sobre ampliaciones de dibujos con las líneas de drenaje, y para lo segundo, un planímetro polar, allí donde la densidad del drenaje estaba determinada por específicas cuencas de drenaje. Se encontró que, muestras circulares de áreas, facilitaban determinaciones más consistentes de la "densidad del drenaje", para cualquier tipo de roca, dentro de un área dada, que las muestras de pequeñas cuencas individuales de drenaje. Las medidas de la "densidad del drenaje" resultaron poco convincentes, donde se usaron fotografías de diferentes escalas, pero esto es explicable si se considera que la capacidad para observar pequeños arroyos, disminuye evidentemente, si la escala también se reduce.

Sin embargo, las pruebas realizadas muestran que se pueden establecer las relaciones de la "densidad del drenaje", con fotografías aéreas de diferentes escalas, y los diferentes tipos de rocas y de áreas. "La concordancia general de la pendiente de las líneas —dice Ray y Fischer (1960)— sugiere que un simple factor de conversión, puede facilitar la ecuación de la "densidad del drenaje", determinada en diferentes escalas fotográficas". Los datos preliminares, —añaden— son demasiado débiles para permitir un análisis de significado geológico, de las diferencias de la "densidad del drenaje", pero ponen en evidencia diversas observaciones interesantes. Así, las rocas ígneas intrusivas, de grano grueso y tosco, muestran baja densidad de drenaje, no obstante la diferente localización geográfica de las muestras utilizadas. Por el contrario, rocas sedimentarias clásticas, de grano fino, muestran alta densidad relativa de drenaje. No se han considerado en estos cálculos, todos los factores que afectan a la "densidad del drenaje" —como el clima o la etapa del ciclo geomorfológico— pero resulta claro que la permeabilidad ejerce una influencia fundamental sobre la "densidad del drenaje": con alta permeabilidad se

produce una baja densidad del drenaje. La permeabilidad puede ser primaria o secundaria. Por ejemplo, la baja densidad de drenaje en los granitos se debe, en parte, a la alta permeabilidad secundaria que resulta del fracturamiento". "Es de esperar —termina diciendo— que un estudio foto-interpretativo de la "densidad del drenaje", en unión de otros criterios, permitirán formular inferencias cuando los tipos o grupos de rocas sean observados. Medidas cuantitativas de la densidad del drenaje y de otros rasgos geomorfológicos, facilitarán una base firme para comparar y evaluar las características de las formas terrestres que pueden tener significación geológica".

Ya, con anterioridad, diversos autores habían utilizado mapas topográficos, para realizar extensos estudios geomorfológicos cuantitativos, pero la evaluación de la "densidad del drenaje", como ya se indicó, o estudios como los llevados a cabo por V. C. Miller (1953), para determinar "los efectos de la litología y de la estructura sobre el desarrollo de las características de las cuencas de drenaje y de las formas terrestres erosionadas", solo se pueden realizar correctamente empleando fotografías aéreas, por su inmenso caudal de detalles, y por toda la información adicional contenida en ellas.

g) *Homogeneidad o uniformidad del drenaje.*

La homogeneidad exhibida por una configuración de drenaje en un área dada, corresponde a la homogeneidad en las condiciones, principalmente litológicas, predominantes en dicha área.

Esta uniformidad u homogeneidad del drenaje, es siempre relativa, naturalmente, y presentará similitud, tanto en su conjunto como en sus partes, ya sean éstas consideradas aisladamente o no.

La "uniformidad", como carácter determinante de las configuraciones de drenaje, tiene importancia principalmente en la tarea de correlacionar zonas o áreas homogéneas, o sea, con el mismo grado de uniformidad. Esta correlación es relativamente segura para zonas cercanas, aunque estén separadas entre sí, y esta seguridad estará en razón inversa de la distancia a que se encuentre una zona de otra. No obstante, y dentro de áreas comparativamente extensas, son efectivas estas correlaciones, siempre y cuando correspondan a una misma zona climática, o a zonas climáticas semejantes, habida cuenta de todos los demás factores relacionados con el clima.

Las configuraciones de drenaje sin uniformidad u homogeneidad, están constituidas por subconfiguraciones, cuyo conjunto integra la configuración. Estas subconfiguraciones individuales son diferentes, debiéndose a sus diferencias la falta de uniformidad de la configuración, pero, a su vez, son uniformes dentro de sí mismas. Esto hace que las áreas ma-

yores puedan ser divididas en tantas áreas menores como existan con características diferencias de erosión, etc., hasta el punto en que el detalle del análisis exija. Y sus límites pueden ser trazados, tanto en las áreas grandes como en las pequeñas, con igual certidumbre.

Las configuraciones pueden ser homogéneas o no, claro es, independientemente de su grado de integración, o de su densidad, etc.

Según H. F. von Bandat (1962), se pueden distinguir en las fotografías aéreas, zonas de relativa homogeneidad, tales como áreas de areniscas o lutitas, hasta un cierto grado, sobre todo si no están mezcladas con otros materiales. Estas y otras rocas dan lugar a configuraciones típicas, que sirven para identificarlas.

Como características adicionales pueden ser consideradas: la orientación, la dirección, y la irregularidad, que muchas veces pueden ser casuales, como en la sedimentación glaciárica.

El grado de "uniformidad" indica (D. R. Lueder, 1959):

- 1 – Uniformidad de erosión y de materiales.
- 2 – Uniformidad de historia erosiva.
- 3 – Límites entre áreas de diferentes características históricas.

h – Grado de integración del drenaje.

La "integración" a que aquí se hace referencia no es otra cosa que la "continuidad" de la red hidrográfica, es decir, la posibilidad de intercomunicación entre todas sus partes, por lo que muy bien pudiera denominarse también a este factor, "grado de continuidad del drenaje". La presencia o ausencia de este factor, en la expresión física de la hidrografía de un área, o sea, la presencia o ausencia de discontinuidad en las corrientes fluviales y demás cuerpos líquidos de las tierras emergidas, tiene una gran importancia, pues revela notables condiciones especiales que motivan tales soluciones de continuidad, las que, por otra parte, son fácilmente detectables en las fotografías aéreas.

D. R. Lueder (1959), dice que "la integración del drenaje" equivale a la "unidad" mostrada por la configuración del drenaje. "Una configuración con un alto grado de integración —añade— posee la característica de que, una línea trazada desde cualquier punto de una corriente a otro punto de otra corriente, puede serlo a lo largo de los canales de las corrientes existentes, de una manera directa y clara".

El "grado de integración" es un concepto relativo o, dicho de otro modo, que depende principalmente del tamaño del área considerada, ya que siempre existirá un determinado grado de integración o de unidad en todas las áreas que sean suficientemente grandes.

Como ejemplos, para distinguir un área con drenaje altamente integrado o unificado, de otra que lo tenga desintegrado o fragmentado, pueden citarse las configuraciones "dendríticas", para el primer caso, y "desordenadas" o "desarregladas", o bien, "kársticas", para el segundo, dentro de la clasificación sistemática de configuraciones de drenaje. En efecto, en la "dendrítica", desde cualquier punto de la configuración se puede ir a cualquier otro de la misma, siguiendo las corrientes que la integran, las cuales no presentan en sus respectivos cursos soluciones de continuidad; por el contrario, en las configuraciones pobremente integradas, como las que se desarrollan en terrenos de calizas kársticas, resulta imposible comunicarse a través de los cursos de las corrientes, ya que éstas son cortas, cuando existen, y se pierden en el subsuelo. De igual carácter son las configuraciones que tienen lugar en las llanuras glaciáricas, con la sola excepción, quizás, de la denominada "cola de caballo", según D. R. Lueder (1959).

Según este mismo autor, el "grado de integración" indica, dentro del área considerada:

- 1 — Su grado de uniformidad y de erosionabilidad (textura, permeabilidad, y grado de infiltración del escurrimiento).
- 2 — El alcance o extensión de la erosión en la misma.
- 3 — La existencia y localización de determinados factores modificadores, como característica de los materiales, expresiones topográficas, etc.

Para H. F. von Bandat (1952), la unidad o integración de las partes componentes de una red hidrográfica, tiene principalmente un significado litológico "constituyendo la distribución de la zonalidad (o zonación), y del rumbo o continuidad de los tipos comunes de drenaje, la base de la interpretación geológica".

Basándose en el diferente grado de integración del drenaje, se pueden trazar los límites entre zonas de diferente integración hidrográfica, en la mayoría de las ocasiones, con gran precisión y, en otras, de un modo menos preciso, pero siempre significativo. En las abundantes ocasiones favorables, y entre ellas se encuentran muchas que son críticas para el análisis, los límites que separan áreas de diferente grado de unidad o integración del drenaje, corresponden a contactos geológicos, casi siempre de naturaleza litológica, correlación que hace de este criterio el más rápido, directo, y efectivo, para la identificación de tales características, que se mostrarán en las fotografías aéreas con tanta mayor claridad, cuanto mayor sea el grado de pureza de las rocas.

De este modo, y basada en todo lo anteriormente dicho respecto al drenaje, se formula la Décima Sexta Regla Fundamental, que dice:

“LOS DIVERSOS TIPOS DE DRENAJE, AL REVELAR LA PENDIENTE DEL TERRENO Y LA ESTRUCTURA GEOLOGICA QUE LOS CONTROLA, ASI COMO LA TECTONICA CON EXPRESION SUPERFICIAL Y LA DESIGUAL RESISTENCIA DE LAS ROCAS, PONEN DE MANIFIESTO, AL SER IDENTIFICADO EL SISTEMA AL QUE EL DRENAJE PERTENECE, TODOS LOS ELEMENTOS GEOLOGICOS Y GEOMORFOLOGICOS MENCIONADOS”.

Observaciones generales sobre la Correlación 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, y ya en 1841, el geólogo ruso Karpinsky, manifestaba que existen diferentes asociaciones de plantas en diversos substratos geológicos, como areniscas, arcillas, calizas, etc., las que pueden usarse para caracterizar la geología del área correspondiente. Precisamente, su clásico trabajo sobre este tema, ha conducido al desarrollo de la ciencia de “indicadores geobotánicos”, mitad geológica y mitad botánica, actualmente en pleno crecimiento, sobre todo en la Unión Soviética, y cuya trascendental importancia en la exploración minera, no es preciso subrayar.

En efecto, los geólogos saben que, dentro de ciertos límites, las rocas impermeables pueden soportar exigua vegetación, mientras que las rocas porosas la tienen abundante y desarrollada, lo que permite identificar, en ocasiones, las principales clases de rocas a primera vista, sobre las fotografías aéreas, por la simple consideración 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 este 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 se hacen 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, (Felipe Guerra Peña, 1960).

17.— CORRELACION VEGETACION—SUELO—ROCA.

La "correlación vegetación-suelo-roca" ya había sido advertida, entre otros, y por lo que se refiere a las fotografías aéreas, por R. 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".

Es 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" (R. R. Hartman y K. N. Isaacs, 1958). En igual sentido se manifestó C. A. Hart (1948), 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, muchos de los cuales se caracterizan por tener una cubierta vegetal muy especial, única que soporta los escapes de gas natural, en cantidades infinitesimales pero continuos, a través de las rocas impermeables del casquete, y quema toda otra clase de vegetación. A este respecto, uno de los más ilustres fotogeólogos, Frank A. Melton, manifiesta que "el uso del aeroplano en los períodos iniciales del desarrollo petrolero en el área de la Costa del Golfo de México, me 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 aflorantes de diversas rocas, cada uno de los cuales puede distin-

* Cita de W. S. Levings, como comunicación personal de Frank A. Melton, en "Aerogeology in Mineral Exploration", Colorado School of Mines, 1944. (Referencia bibliográfica completa al final).

guirse 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.

L. Desjardins (1950), ha 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 W. S. 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 del 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 S. H. 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 las condiciones geológicas entre las 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 R. 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 de las rocas estratificadas".

Como resultado de esta secuencia o correlación, entre la vegetación y el substrato rocoso, ha nacido la geobotánica, cuyo principal propósito es "el uso de la vegetación para la identificación de la naturaleza y propiedades del substrato" (R. R. Brooks, 1972), lo que se puede conseguir perfectamente por el estudio de las fotografías aéreas.

Los métodos de investigación geobotánica, para la interpretación del significado geológico de la cubierta vegetal, principalmente son los siguientes:

- a) Estudio de la naturaleza y distribución de las comunidades de plantas.

b) Estudio de la naturaleza y distribución de las "plantas indicadoras" o "plantas índice".

c) Observación de los cambios morfológicos en la vegetación, como por ejemplo, los cambios de color.

Todos estos factores pueden ser analizados en las fotografías aéreas, lo que se ha venido haciendo con creciente intensidad a partir de la segunda guerra mundial, constituyendo así una de las más importantes actividades de la fotogeología, como medio de exploración geobotánica.

Las "plantas indicadoras" se conocen desde hace mucho tiempo, y un buen ejemplo de ello, es la llamada "planta del cobre" (kisplant), que fué usada por los mineros medievales escandinavos para la localización del cobre (Vogt, 1942 a). Se llaman "plantas indicadoras" por mostrar determinada preferencia por cierto tipo de mineralización, la cual "indican" o "señalan", con su presencia.

Las "plantas indicadoras" se dividen en dos grandes grupos, de acuerdo con su distribución. El primer grupo está integrado por las llamadas "indicadoras universales", que no pueden desarrollarse en sustratos sin mineralizar y pueden ser usadas en cualquier región en que se encuentren. Estas "plantas índice" son extraordinariamente valiosas, pues su presencia casi siempre indica una elevada concentración en el suelo, del elemento de que se trate, pero tienen la gran desventaja de que suelen ser raras y de una distribución limitada. No obstante esto, los mayores éxitos en geobotánica se han obtenido con ellas, como el descubrimiento del cobre en Zambia mediante el "Ocimum homblei" (Horizon, 1959), y del uranio, en la meseta de Colorado; con el "Astragalus" (Cannon, 1957, 1960a. 1964).

El otro grupo de plantas comprende las "indicadoras locales", formado por especies adaptadas para tolerar un terreno mineralizado, en el cual pueden crecer, en cualquier parte, con la condición de que la competencia con otras especies no sea demasiado grande. Estas "plantas indicadoras" son, por lo corriente, mucho más comunes que las "indicadoras universales", pero tienen el inconveniente de que con frecuencia solo son utilizables en áreas limitadas.

En general, estas "plantas indicadoras" se desarrollan solamente en aquellas zonas de suelos ricos en minerales de los cuales son "índice", sustancias que actúan tóxicamente sobre el resto de la vegetación. En realidad, esto no quiere decir que la "planta indicadora" tenga realmente una determinada afinidad por una especial sustancia mineral, sino que, simplemente tolera la toxicidad de dicha sustancia, que las demás plantas no resisten, favoreciendo tal adaptación a un medio enrarecido,

precisamente, la ausencia de competencia de estas especies más aptas, que las relegan a dicho ambiente adverso.

El reconocimiento de estas especies vegetales en las fotografías aéreas se verifica por medio del registro del "tono" especial que cada una tiene, a causa de determinadas cualidades que se manifiestan en el fenómeno de reflexión de la luz, por el anormalmente elevado contenido mineral de la planta, principalmente en las hojas. Se han llevado a cabo investigaciones para medir exactamente la cantidad de luz reflejada en cada caso por la "planta indicadora" (Robert N. Colwell, 1952).

Como ejemplos muy conocidos de esta correlación entre plantas y minerales, además de las mencionadas antes, pueden citarse: el de la margarita que caracteriza los depósitos de boro; el de la violeta, que denuncia los de cinc; el de las cicadáceas del Pacífico, que forman densos núcleos en las zonas ricas en calizas; el del pino blanco oriental norteamericano, que se desarrolla en depósitos de grava, etc., etc.

El uso de esta correlación en la exploración de los recursos minerales, habida cuenta de que los métodos convencionales, inclusive los geofísicos, van agotando rápidamente sus posibilidades de descubrir nuevos yacimientos y, mucho menos, en la gigantesca proporción que el normal desenvolvimiento de la humanidad exige, habrá de desarrollarse extraordinariamente en el futuro, en cuyo resultado deberán jugar un papel trascendental, tanto las fotografías aéreas, como las imágenes espaciales, utilizándose al efecto técnicas que, o todavía están en periodo de experimentación, o apenas se inician en el amplísimo horizonte de la fotogeología, como ocurre con las emulsiones ultrafinas para filmes que permitirán enormes magnificaciones de las imágenes, capaces de registrar objetos de muy pequeño tamaño, desde distancias de cientos de kilómetros—ya se consiguen desde mil kilómetros, en números redondos—suficientes para llenar las necesidades de la exploración.

Así, pues, la Décimo Séptima Regla Fundamental, se enuncia de este modo:

"LOS DIFERENTES TIPOS DE VEGETACION QUE CUBREN LOS RASGOS TERRESTRES SUPERFICIALES, POR DEPENDER DE LAS ROCAS SUBYACENTES CUYA DESCOMPOSICION DA ORIGEN A LOS SUELOS QUE LOS SOPORTAN, PERMITEN EL REGISTRO EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS, DE LOS CONTACTOS QUE DELIMITAN TALES ROCAS, ASI COMO LA LOCALIZACION DE LA MAYORIA DE LOS RASGOS ESTRUCTURALES Y TECTONICOS REFLEJADOS EN DICHA SUPERFICIE, POR EL ANALISIS DE SUS GRUPOS Y RASGOS VEGETALES RESPECTIVOS, GRACIAS A LA CORRELACION VEGETACION-SUELO-ROCA, MODIFICADA

CUADRO DE PLANTAS INDICADORAS

El cuadro que figura a continuación, constituye una selección reducida de otro mucho más extenso de Cannon (1960 b), de "plantas indicadoras" ya utilizadas en exploraciones mineras, en el que se indica la especie mineral, la botánica, la localidad y la referencia.

<i>Elemento</i>	<i>Especie botánica</i>	<i>Localidad</i>	<i>Referencia</i>
Betún	<i>Artemisia limosa</i> (L)	Siberia	Popov, 1949.
"	<i>Astragalus aureus</i> (L)	U.R.S.S.	Burenkov y Kuzina, 1968.
Boro	<i>Eurotia ceratoides</i> (L)	U.R.S.S.	Buyalov y Shviryayeva, 1961
"	<i>Salsola nitraria</i> (L)	U.R.S.S.	"
Cobalto	<i>Crotalaria cobalticola</i> (U)	Katanga	Duvigneaud, 1959.
"	<i>Silene cobalticola</i>	Katanga	"
Cobre	<i>Elsholtzia patrini</i> (L)	China	Chu-chin-han, 1960.
"	<i>Eschscholtzia mexicana</i>	Arizona	Cannon, 1960 b.
"	<i>Merceya latifolia</i> (U)	Suecia	Persson, 1948.
"	<i>Viscaria alpina</i> (L)	Noruega	Vogt, 1942 a.
Hierro	<i>Betula</i> sp. (L)	Alemania	Lidgey, 1897.
"	<i>Clusia rosea</i>	Venezuela	Buck, 1951.
"	<i>Dacrydium calendonium</i>	Nueva Caledonia	LeJolis, 1960.
"	<i>Dammara ovata</i> (L)	Nueva Caledonia	"
Plomo	<i>Baptisia bracteata</i> (L)	Wisconsin	Cannon, 1960 b.
"	<i>Tephrosia polyzyga</i> (L)	N. de Australia	Cole et al, 1968.
Manganeso	<i>Digitalis purpurea</i> (L)	U.R.S.S.	Uspensky, 1915.
"	<i>Fucus vesiculolus</i> (L)	U.R.S.S.	Malyuga, 1947.
"	<i>Trapa natans</i> (L)	U.R.S.S.	"
Molibdeno	<i>Astragalus declinatus</i> (L)	U.R.S.S.	Malyuga et al, 1959.
Níquel	<i>Alyssum bertolonii</i> (L)	Italia	Minguzzi y Vergnano, 1948.
"	<i>Asplenium Adulterium</i> (L)	Noruega	Vogt, 1942 a.
Fósforo	<i>Convolvulus althaeoides</i> (L)	España	Lidgey, 1897.
Selenio	<i>Aster venustra</i> (U)	Oeste EE.UU.	Trelease y Beath, 1949.
"	<i>Neptunia amplexicaulis</i> (L)	Queensland	McCray y Hurwood, 1963.
Selen. y Uranio	<i>Astragalus</i> (ciertas especies) (U)	Oeste EE.UU	Cannon, 1957 y 1960 a.
Plata	<i>Eriogonum ovalifolium</i> (L)	Montana	Henwood, 1857.
"	<i>Lonicera confusa</i> (L)	Queensland	Bailey, 1899.
Vanadio	<i>Astragalus bisulcatus</i> (U)	Oeste EE.UU	Trelease y Beath, 1949.
Cinc.	<i>Matricaria americana</i> (L)	Brasil	Dorn, 1937.
"	<i>Thlaspi calaminare</i>	Alemania	Dorn, 1937.
"	<i>Philadelphus</i> sp. (L)	EE. UU.	Cannon, 1960 b.
"	<i>Thlaspi cepaeaeifolium</i> (U)	Sur del Tirol	Dorn, 1937*.

* Los símbolos en paréntesis después del nombre de la planta significan cuando es "indicador local" (L), o "indicador universal". Cuadro tomado de R. R. Brooks (1972).

POR LOS FACTORES CLIMATICOS Y TOPOGRAFICOS CORRESPONDIENTES, TODO LO CUAL ES DE UTILIDAD SUMA EN LA EXPLORACION MINERA, HABIDA CUENTA DE LA EXISTENCIA DE "PLANTAS INDICADORAS" DE MINERALIZACION".

EL MAPA FOTOGEOLOGICO

Al igual que los resultados de la exploración geológica superficial, llevada a cabo por medio de los métodos llamados comunmente convencionales, se recogen en un mapa geológico, la información obtenida con la interpretación geológica de las fotografías aéreas, o sea, con la interpretación fotogeológica propiamente dicha, se registra en un "mapa fotogeológico preliminar".

Se llama "preliminar", porque constituye la iniciación de todo reconocimiento geológico, y debe preceder a cualquier exploración, inclusive a la planeación inicial de la misma. Es, por lo tanto, la primera etapa en el proceso de confección del mapa geológico.

Todo programa de exploración geológica, sobre todo si se trata de reconocer áreas desconocidas todavía, exige como primer paso, la realización de un estudio fotogeológico preliminar o previo. Si el resultado de este somero examen geológico es negativo, en ese mismo punto se detiene y termina el rápido examen de las correspondientes fotografías aéreas, sin necesidad de que se registren en ellas datos de ningún género y, mucho menos, que se confeccione un "mapa fotogeológico preliminar", ni aún en el grado de simple borrador. Este sería el caso, por ejemplo, cuando al tratarse de localizar rocas sedimentarias, para descubrir estructuras más o menos favorables para la generación o almacenamiento de petróleo, solo se encontrasen rocas ígneas intrusivas. Tal área sería desechada, simplemente.

Pero en el caso de que el examen visual preliminar de las fotografías aéreas revelase la presencia de rocas y de estructuras de interés para la geología petrolera —siguiendo el mismo ejemplo— sería cuando tendría que estudiarse el área, mediante la interpretación de las correspondientes fotografías aéreas, desde el punto de vista geológico, recogándose toda la información que se obtenga en el "mapa fotogeológico preliminar", cuya confección deberá preceder necesariamente a toda otra labor de exploración geológica.

Tal "mapa fotogeológico preliminar", constituirá la base y punto de partida de todo el reconocimiento geológico posterior y, como mapa fo-

togeológico base, en él se deberán ir registrando todos los datos e informes que se obtengan en el reconocimiento efectuado sobre el propio campo, sirviendo de guía, al mismo tiempo, para todo el reconocimiento terrestre. De este modo, el "mapa fotogeológico preliminar", se irá convirtiendo poco a poco, en un estricto "mapa geológico", a medida que se vayan llenando los huecos y lagunas, que el análisis fotogeológico no pudo llenar, como sería el caso de toda la información paleontológica—incluyendo, claro es, la micropaleontológica— para determinar la edad geológica de las rocas y, hasta cierto punto, de cuantificar detalladamente y con exactitud, el buzamiento de los estratos, etc. Al mismo tiempo, se ratificarán los datos obtenidos mediante la interpretación fotogeológica, cuando éstos sean correctos, o se rectificarán, cuando no lo sean, en vista de la información que se obtenga directamente en el campo (Juan B. Buig, 1953).

De esta manera, el "mapa fotogeológico preliminar", construido a base de la interpretación fotogeológica simple, se convierte en "mapa geológico", una vez que la información fotogeológica inicial se haya ratificado o rectificado y, además, completado, con los datos que la fotogeología no puede facilitar, como son los relativos a la edad geológica, mediante el estudio de los fósiles.

El "mapa geológico" así logrado; debe de llevar en la leyenda, en lugar destacado y bien visible, la noticia de la forma en que se ha verificado su confección y, a dicho efecto, como subtítulo debe decirse: "Mapa Geológico confeccionado mediante el estudio fotogeológico, con subsiguiente verificación de campo", con objeto de que quede bien claro el origen de la información que en el mapa aparezca, y su valor cualitativo y cuantitativo.

Confección del Mapa Fotogeológico Preliminar.

La técnica que hay que seguir para la realización de este mapa, consta de varias fases o etapas, que deben realizarse ordenada y metódicamente, para el mejor logro del mismo, del modo siguiente:

Primera fase.— Interpretación geológica de las fotografías aéreas o interpretación fotogeológica.

Como primer paso, se ordenarán las fotografías aéreas que integren el levantamiento fotográfico aéreo del área de que se trata, acomodándolas en sus respectivas líneas de vuelo, para que se pueda obtener una visión de conjunto de todas ellas, o bien, si se dispone desde el comienzo, de índices fotográficos aéreos, se planeará la ejecución de la fotointerpretación geológica, sobre la base de dichos índices.

Lo más correcto, será comenzar el análisis de los pares fotográficos estereoscópicos o estereogramas, comenzando por los ángulos o esquinas del levantamiento, y siguiendo la orientación que éste tenga, de forma que si esta orientación es de E-W, se inicie la labor con la primera fotografía del E o del W, continuándose en cualquiera de ambos sentidos, preferiblemente comenzando por la fotografía número 1 o, en caso, de constituir el trabajo la interpretación de solo una parte del levantamiento, comenzando la tarea por la fotografía que tenga en el número más bajo, para llevar una secuencia de la numeración consecutiva de las fotografías. Así, si las fotografías aéreas están numeradas, por ejemplo, del 375 al 425, se debe empezar el trabajo por el par estereoscópico formado por las fotografías 375 y 376. De esta manera, se podrá llevar constantemente un control del trabajo, a medida que éste se vaya realizando. Es decir, que la primera fotografía que se interprete será la 375, y la última la 425.

El primer estereograma que se analice, será pues el formado por las fotografías 375 y 376, y suponiendo que la orientación del vuelo a que correspondan estas fotografías, sea E-W, se podrá comenzar por el E o el W y, al registrarse los rasgos interpretados sobre dicho par estereoscópico, no se anotarán sobre las dos fotografías, sino sobre la parte del 60 por 100 de recubrimiento que corresponderá a la segunda, es decir, a la 376. De este modo, la primera fotografía, la 375, quedará totalmente libre de anotaciones, mientras que la segunda o 376, quedará cubierta por los rasgos correspondientes a ese 60 por 100 de recubrimiento. El otro 40 por 100 restante, se anotará con el recubrimiento estereoscópico facilitado por la tercera fotografía del vuelo en cuestión, o sea la 377, la que a su vez quedará sin anotación alguna, pues su 60 por 100 de recubrimiento y los datos que en él se logren, se anotarán en la cuarta fotografía, o sea, la 378. Y así se seguirá sucesivamente, de tal manera, que al final del trabajo, solo quedarán anotadas la mitad de las fotografías aéreas analizadas, y la otra mitad quedará totalmente libre de anotaciones, así como la mitad de la primera fotografía, por carecerse de la que la antecede y la mitad de la última fotografía, por faltar la que la sigue.

Este procedimiento, tiene por objeto procurar que la interpretación quede registrada en unidades fotográficas completas, eliminándose así las soluciones de continuidad de los rasgos en una mitad, lo que no podría conseguirse anotando la información por medias fotografías lo que, además, complicaría el trabajo del traslado de los rasgos registrados, desde las fotografías aéreas a los correspondientes mosaicos fotográficos aéreos.

Esta primera etapa de interpretación de las fotografías aéreas, debe hacerse concienzudamente, es decir, con la máxima atención, ya que es la base de todo el trabajo.

La interpretación deberá ser precedida por la "identificación" de todos aquellos rasgos que la permitan, y entre los que se encuentran los "culturales" o "humanos", que comprenden, desde unidades de población, como ciudades, pueblos, ranchos o casas aisladas, hasta vías de comunicación, como ferrocarriles, carreteras de diversas categorías, sin olvidar las veredas o sendas, pues estos caminos serán luego de capital importancia, cuando se trate de comprobar el trabajo en el terreno mismo, reconocimiento que, en gran manera, quedará supeditado a la existencia o no de tales veredas. Estos rasgos culturales abarcan, pues, todo lo que se deba a la mano del hombre, y se registrarán con lápices de dos colores: "anaranjado", para los rasgos de mayor importancia, como ciudades o villas, y ferrocarriles y carreteras transitables todo el año; y, "amarillo", para los rasgos culturales de menor importancia, como aldeas, ranchos o veredas.

Antes o después de esta "identificación" de los rasgos culturales o humanos, se procederá a la de un rasgo natural de trascendental importancia geológica: la red hidrográfica.

Para registrar sobre las fotografías este rasgo tan importante deben emplearse dos lápices de color "azul"; uno, "azul oscuro", para registrar los rasgos sobre los tonos grises claros de las fotografías en blanco y negro; y, otro "azul claro", para anotar los rasgos sobre los tonos grises oscuros de las fotografías. El contraste de oscuro sobre claro y, viceversa de claro sobre oscuro, fortalece la visibilidad del trazo, que se hace así más claro y detectable.*

El "vaciado" —así se llama corrientemente en México y en los medios afines a estas labores, la operación de registrar con un lápiz, generalmente de color azul, la red hidrográfica— debe verificarse de modo que la punta del lápiz, o el lápiz mismo, no impida la perfecta visión del rasgo del drenaje que se trate de señalar. Esto quiere decir que, sin importar para nada el sentido del escurrimiento, se haga el trabajo en forma tal, que siempre la punta del lápiz se ajuste exactamente al cauce que se registre, lo que se consigue más fácilmente, dibujando de derecha a izquierda tales rasgos, para que éstos se vean siempre delante de la punta del lápiz, y no estorbe ésta a la perfecta y limpia visión del rasgo, como ocurriría si el trazo se señalase en sentido contrario, o sea, de izquierda a derecha. En el sentido N-S, se debe preferir marcar de S a N, por el mismo motivo, cuando no concurren particulares circunstancias que aconsejen lo contrario.

* El empleo de determinados colores, para simbolizar rasgos específicos, es puramente convencional, pero aquí se indican los que más generalmente se emplean.

Todas las corrientes de agua, secas o no, hasta las más mínimas vaguadas* —la más pequeña puede encerrar el mayor valor geológico en un momento dado— deben marcarse desde sus cabeceras, sin dejar la parte superior sin registrar, hasta su confluencia sucesiva con otra mayor, de manera que no quede ni el más, al parecer, insignificante tramo sin marcar. En el caso de que la corriente desaparezca, por filtración en el subsuelo o por otro motivo, se indicará este dato por medio de una pequeña cabeza de flecha, cuyo concreto sentido se explicará en la leyenda.

Registrados los rasgos culturales o humanos, y los naturales correspondientes a la hidrografía se procederá, primero a la "identificación" de los rasgos geológicos, para después proceder a la "interpretación" de los que así lo requieran, ni más ni menos a como se procede en la exploración geológica superficial, de la cual, la fotogeología, constituye una valiosísima rama, como se dijo ya en un principio.

Para la importante tarea de registrar en las fotografías aéreas los rasgos geológicos, que es la esencia misma de la fotointerpretación geológica o fotogeología, se emplearán lápices de color rojo, y como en el caso de la red hidrográfica, uno de color rojo oscuro o fuerte, para las áreas de tono gris claro de las fotografías aéreas en blanco y negro, y otro de color rojo claro o débil, para las zonas de gris fuerte u oscuro. A veces, y cuando se trata de distinguir algunos rasgos geológicos especiales, de entre los restantes rasgos geológicos, como algunos tectónicos en particular, se emplea otro color más, que puede ser el morado o violeta oscuro.

En resumen, los rasgos geológicos, que son, como es natural, los más importantes del mapa fotogeológico, se registrarán, como ya queda dicho, en color rojo, así como los hidrográficos —tan valiosísimos por su significación geológica— lo serán en color azul, y en color anaranjado o amarillo, los rasgos culturales. Con una sola mirada y, por su color, se podrán fácilmente distinguir todas estas diferentes categorías de rasgos.

Llegado el momento de reconocer los rasgos geológicos, se comenzará por trazar las líneas de contacto que separan las rocas consolidadas de las sin consolidar, es decir, las que muestran un relieve más o menos acusado, de las que no lo tienen. De este modo quedan delimitadas las rocas que se exhiben horizontales, de las que tienen alguna inclinación con relación a la horizontal, y que pueden llegar a la verticalidad, si la cohesión de la roca correspondiente lo permite. De este sencillo modo se pueden registrar los contactos de las rocas que forman los "depósitos aluviales", que cubren una gran extensión de la superficie terrestre, y también pueden identificarse, por su posición horizontal, las "terrazas fluviales", dis-

* "Vaguada": línea que marca la parte más honda de un valle, y es el camino por donde van las aguas de las corrientes naturales. (Diccionario de la Lengua Española de la Academia, 1970).

tinguéndolas de los aluviones, por destacarse sobre estos en forma de pisos o niveles, correspondientes a diferentes ciclos geomórficos. Otros depósitos que cabe registrar como sin cohesión, son los “eluviales”, llamados también de “talud” o de “pie de monte”, formados por las acumulaciones de detritos, que la erosión va produciendo, cuando las partículas sueltas de las rocas se detienen al rodar por una pendiente, al alcanzar su llamado “ángulo de reposo”.

Una vez reconocidas y registradas estas áreas cubiertas por rocas sin cohesión entre los elementos que las componen, aluviones, eluviones y terrazas fluviales, se procede a delimitar entre sí las diversas clases de rocas coherentes o cohesionadas, procediendo en primer lugar a separar las rocas sedimentarias de las ígneas y metamórficas.

Comenzando por las rocas sedimentarias, el primer paso consistirá en marcar la línea de contacto que separe a las estratificadas de las macizas,* lo que no suele presentar dificultad alguna, pues la estratificación es un rasgo claramente visible, aún en sus más ligeras manifestaciones, por mostrar características bien definidas y seguras.

En las rocas sedimentarias estratificadas se registrará su rumbo y buzamiento o echado, guiándose principalmente por los llamados en inglés gráficamente, “hog-backs” —“lomos de cerdo”— por su semejanza con esta figura, conocidos también como “planchuelas”, y que no son otra cosa que estratos redondeados por la acción erosiva, con su convexidad hacia arriba en el sentido de la pendiente, y cuya curvatura dependerá en gran manera del ángulo de la misma, de forma que a mayor buzamiento corresponderá una curva más cerrada y, viceversa, a menor buzamiento, una curva más abierta.

Los símbolos de rumbo y buzamiento que se emplean en fotogeología son algo diferentes de los usados en geología superficial, a causa de la dificultad de marcar exactamente los grados del echado. Por esta razón se utilizan símbolos que, en vez de marcar los grados exactos, indican una serie de ellos, comprendida entre dos valores extremos, del modo siguiente:

Echado horizontal (como en geología superficial)	+	o bien	+
Echado comprendido entre 1° y 29°		”	
Echado comprendido entre 30° y 59°		”	
Echado comprendido entre 60° y 89°		”	
Echado vertical (como en geología superficial)		”	

* Se debe emplear el vocablo “macizo”, que significa “lleno, sin huecos, sólido”; y no “masivo”, galicismo que significa “lo que se aplica en gran cantidad” o “dosis de un medicamento”.

Con este margen de casi 30° , por cada grupo de símbolos, resulta fácil no cometer ningún error al evaluar fotogeológicamente el echado de un estrato, aunque no obstante su amplitud, siempre se deberá tener bien presente la exageración vertical de las imágenes en las fotografías aéreas, rectificación que, con un poco de práctica, se verifica automáticamente en la interpretación.

Es muy conveniente la estimación de los grados del buzamiento de los estratos, aunque sea del modo que se indica, pues en caso de no hacerse así, tendría que emplearse el símbolo sin indicación de gradación alguna, es decir, abarcando desde 1° a 89° , puesto que los horizontales y verticales sí se podrían señalar siempre. La ausencia de indicación de la gradación, aunque sea en grupo, oscurecería excesivamente en el cuadro geológico la idea del rumbo y buzamiento de los estratos, por presentarse de forma demasiado general.

Reconocidos así los rumbos y echados, se puede proceder a continuación a la verdadera interpretación fotogeológica, al configurarse las estructuras geológicas de toda índole que aquéllos determinen y, por lo tanto, cabe ya que el factor subjetivo intervenga decisivamente y que, en consecuencia, se den interpretaciones diferentes, si no en los rasgos generales más evidentes, sí en los menores o en los detalles, menos claros y, por lo tanto, más sujetos a discusión.

Una vez registrados fotogeológicamente los plegamientos estructurales, se prosigue la labor con la determinación de los afallamientos y fracturamientos de todas clases, desde las fallas propiamente dichas, hasta las juntas o diaclasas, visibles en las fotografías aéreas y evidenciadas por las alineaciones correspondientes. Cuando se puedan determinar los desplazamientos de las rocas, ya sean estos horizontales, o bien verticales o de gravedad, se señalarán con una letra *F* mayúscula, en cada extremo del rasgo, y cuando no se puedan reconocer, bien por no existir o por no ser perceptibles, se indicarán con una *f* minúscula, también en cada extremo del rasgo. El desplazamiento vertical de la falla se señalará con una *A* en la parte alta y una *B* en la parte baja; si el desplazamiento es horizontal, se indicará con dos flechas, que mostrarán el desplazamiento de los dos labios de la falla.

Los ejes de los plegamientos, ya sean anticlinales, sinclinales, monoclinales, recostados,* etc., se identificarán en las fotografías aéreas con los mismos símbolos empleados en la cartografía geológica superficial.

Respecto a la identificación de las rocas sedimentarias macizas, la mejor guía para efectuarla consiste en el análisis de la red hidrográfica, ya

* Debe decirse pliegue "recostado", y no "recumbente", por ser éste un simple barbarismo de léxico.

que cada grupo de rocas origina una configuración particular de drenaje, como consecuencia de su específico comportamiento frente a los agentes erosivos, teniendo siempre en cuenta la litología y el clima.

En cuanto a las rocas ígneas, algunas como las extrusivas, tienen expresiones tan típicas que resultan fácilmente identificables en las fotografías aéreas, pudiéndoselas delimitar sin grandes dificultades. Las rocas ígneas intrusivas tienen igualmente su peculiar modo de manifestarse —formas redondeadas o aborregadas de los granitos, etc.,— como las tienen las metamórficas, pese a presentar muchas características propias de las sedimentarias, de las que se diferencian por tener aristas menos limpias y suaves que éstas, etc.

Todas las rocas mencionadas, así como las de otras categorías intermedias, pueden quedar, no solo delimitadas sino identificadas litológicamente, así como todos los accidentes geológicos que registren las fotografías aéreas.

Segunda fase.—Transporte de la información fotogeológica de las fotografías aéreas a los mosaicos.

Una vez concluída totalmente la interpretación geológica de las fotografías aéreas, se pasa toda la información obtenida al mosaico fotográfico aéreo correspondiente, construído con el mismo juego de las fotografías aéreas interpretadas. Generalmente, esta etapa del proceso se verifica con un número indeterminado de mosaicos, ya que esto depende, no solo del tamaño del área que se trate de estudiar, sino también de la escala original a que se efectúe el análisis.

El traslado de la información desde un documento a otro, es decir, de la fotografía aérea al mosaico fotográfico aéreo, se verifica directamente por el propio intérprete o por un ayudante muy experimentado, teniendo en la mano izquierda la fotografía, a una distancia de la visión distinta, y debajo de la mano derecha el mosaico, sobre el cual se va anotando la información transportada de la fotografía, la cual se verifica utilizando los mismos lápices, con los mismos colores y para iguales series de rasgos, que se emplearon para registrar los rasgos interpretados en las fotografías aéreas, es decir, rojo para la geología; azul para la hidrografía, y; anaranjado o amarillo, para los rasgos culturales o humanos.

En este cometido, se deben pasar al mosaico todos los datos que aparezcan registrados en las fotografías aéreas, sin omitir ninguno. Esta transferencia de información servirá, además, para corregir algún error que se haya podido deslizar en la fotointerpretación, principalmente en los empalmes de las líneas de contacto de unas fotografías con otras.

Si no existiese mosaico de ningún género, ni aún sin control alguno,

se podrá construir uno, a base de unir unas fotografías con otras, directamente, sobreponiéndolas en sus áreas duplicadas, de forma que se recoja toda el área, ya sin recubrimiento, sujetando entre sí todas las fotografías que forman el mosaico por medio de grapas o con cinta adhesiva, pero aplicándola por el reverso de las fotografías, para evitar desgarres de la emulsión en el anverso de la fotografía. La construcción de un mosaico de esta clase es rápida, fácil y económica.

Tercera fase.— Dibujo calcado de los rasgos registrados en el mosaico, en papel transparente.

Esta fase consiste en calcar todos los rasgos registrados en el mosaico con lápices de colores, sustituyendo los colores en el dibujo que se calca con tinta china, es decir, negra.*

Para llevar a cabo tal sustitución de los colores de los lápices utilizados en la interpretación y en el pase de la información fotointerpretada al mosaico correspondiente, se hace preciso sustituir igualmente, el significado de cada color —rojo para la geología, azul para la hidrografía, etc.— por líneas simbólicas, bien continuas o cortadas, punteadas, simples o dobles, de tamaños diversos, etc. El objeto es sustituir los colores originales por símbolos que los representen convencionalmente y en negro, ya que el dibujo final, del cual este calcado viene a ser su borrador, se hará en negro, para poder sacar así las copias que se necesiten para el trabajo.

Este dibujo calcado sobre el mosaico tiene que hacerse forzosamente en papel transparente o de acetato, también conocido como papel cristal, con objeto de que se puedan ver todos los rasgos dibujados sobre el mosaico y así poderlos calcar, habida cuenta de que de otro modo, es decir, sin papel extratransparente, resulta imposible la observación clara y precisa de tales rasgos.

El drenaje, marcado con color azul, tanto en las fotografías aéreas como en el mosaico, se registra en este dibujo con línea negra seguida, cuando lleva agua, y línea doble cuando se pueden marcar las dos orillas; cuando no lleve agua, se señala, como arroyo intermitente, con trazos de una línea y tres puntos, y así sucesivamente. Los contactos geológicos se pueden marcar con línea negra continua o, si se prefiere con línea continua de puntos, así como todos los restantes rasgos geológicos, siempre con tinta china, desde los símbolos del rumbo y buzamiento,

* La tinta china es siempre negra, porque se hace con negro de humo, sustancia de la cual México es uno de los primeros productores del mundo. Conviene hacer esta aclaración, porque muchas personas, e inclusive técnicas, creen que también hay tinta china de colores: roja, azul, verde, etc., lo cual es un error.

hasta los de las formaciones, ejes de plegamientos y rasgos tectónicos de todas clases. El dibujo debe ser exacto en cuanto a la localización de los fenómenos y rasgos que se registran en él, pero no es preciso que se cuide excesivamente la realización del dibujo en sí, puesto que se trata simplemente de un borrador, que nuevamente ofrecerá la ocasión de corregir cualquier error que se haya cometido, bien en la interpretación original y no haya sido advertido en las fases anteriores de la ejecución del mapa fotogeológico, o bien, de nueva cuenta en una de sus posteriores fases de realización.

Cuarta fase.— Dibujo calcado sobre el borrador, de todos los rasgos contenidos en éste, en papel "cronaflex", "albanene" o similar y, si es preciso, en "papel-tela" (tracing-cloth).

Este dibujo, calcado sobre el borrador, constituye el original del "mapa fotogeológico preliminar" y, en consecuencia, debe ser dibujado con gran cuidado, para que reúna todas las condiciones que un buen mapa exige, tanto por lo que respecta a su contenido, como por lo que se refiere a su terminado.

Todos los rasgos se dibujarán en tinta china, empleándose las plumillas más convenientes, y utilizándose para la rotulación cualquier sistema, preferentemente el "Leroy", siempre y cuando no exista un dibujante rotulador a mano, de gran experiencia, pues en este caso, el mapa tendrá el carácter necesario que la rotulación mecánica no puede darle.

La hoja de papel en la que se dibuje el mapa fotogeológico preliminar, deberá tener a la derecha un margen libre de unos 30 centímetros de ancho y de la longitud correspondiente a la anchura que tenga el mapa, en cuyo espacio se pondrá la leyenda, que deberá contener toda la información más completa y detallada posible.

La información que contenga la leyenda puede dividirse en tres partes, del modo siguiente:

En la parte superior figurará en primer lugar el nombre de la institución bajo cuyos auspicios se construye el mapa, con letra medianamente grande, como por ejemplo: *Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería*. A continuación, más abajo, y con letra de mayor tamaño que la anterior, el tema del mapa, como: *Mapa Fotogeológico*, y en renglón más abajo y con letra menor, *Preliminar*. Finalmente, y en letra grande, que será la mayor de la leyenda, la localización del mapa: *Región de Ojinaga*, con letra mediana; *Estado de Chihuahua*, con letra del tamaño de la que indica el tema del mapa, y en renglón más abajo y con letra menor, *México*. En esta parte de la leyenda, como puede verse,

deben destacar: en primer lugar el tema del mapa: *Fotogeológico*; en segundo lugar, la localidad: *Chihuahua*, y; en tercer lugar, el de la institución que lo construye: *Facultad de Ingeniería*.

En la parte media de la leyenda figurará toda la simbología, tanto la topográfica como la geológica, que puede colocarse en dos columnas paralelas, con letra pequeña, pero legible a simple vista, bajo un título, con letra mayor que la específica de cada símbolo, que diga Simbología. Entre los símbolos topográficos figurarán los naturales, como los hidrográficos de diversa categoría; y los culturales, como aglomeraciones humanas, vías de comunicación, etc., encabezados por el calificativo de *Naturales* y el de *Culturales*. En la simbología geológica, que se encabezará con dicha palabra, se incluirán todos los que sean necesarios para la mejor comprensión de la información contenida en el mapa fotogeológico, desde los símbolos de rumbo y echado, hasta los de contactos, ejes de plegamientos, fallas y fracturas de todas clases, etc. En esta parte media de la leyenda, y después de la simbología y ocupando la parte central de la franja de papel libre, y bajo el título de *Estratigrafía*, se indicará ésta, tal y como se haya establecido por la fotointerpretación, por medio de pequeños rectángulos, en los que las diferentes formaciones se señalarán por medio de un símbolo, que puede ser un número romano o una letra del alfabeto, con la aclaración de cual es la más antigua, que se colocará debajo, y cual la más moderna, que se situarán arriba, figurando todas las demás como intermedias. Cuando la litología se pueda identificar, también se mencionará con el símbolo correspondiente, que puede consistir en el de la roca, abreviado, como *lut*, por *lutita*, o *cal*, por *caliza*, etc., o *ig*, por *ígneo*.

Finalmente, en la parte inferior de la leyenda, se colocará la escala gráfica y la numérica, bien visibles y legibles, el nombre del autor, y el lugar y fecha de su confección.

Como regla general, solo deben incluirse en la leyenda, los símbolos de rasgos que aparezcan en el mapa, omitiendo todos los demás. Cuando existan símbolos fotogeológicos utilizables, se preferirán éstos a los estrictamente geológicos. La parte media de la leyenda, se encabezará con dicha palabra, de tamaño mayor que todas las que aparezcan en ella.

Quinta fase.— Copia del original de papel albanene o semejante, de vapor de amoníaco o similar.

Sexta fase.— Coloreado de la copia del original, con colores de agua.

Los mapas geológicos y, en general, todos los que hayan de ser usados en el campo o en el gabinete, con fines profesionales, nunca deben ser

coloreados con lápices, sino con los llamados colores de agua o "water colors", los cuales se venden en el mercado fotográfico, para iluminar fotografías. No deben confundirse estos colores con los de "acuarela".

El objeto de colorear los mapas fotogeológicos, como los geológicos en general, con "colores de agua", se debe a los siguientes motivos:

- 1o.—Abrillantan los colores del mapa, es decir, hacen que las líneas que lo constituyen, resalten más, lo que permite una visión más clara y precisa del mismo. El coloreado con lápices, produce el efecto contrario, es decir, que opaca las líneas del mapa, por recubrirlas con el material céreo que constituye la llamada "mina" del lápiz.
- 2o.—Ese material céreo que forma el color que se extiende sobre el mapa, impide se hagan anotaciones con tinta en el mismo, por tupirse la punta de la pluma o plumilla utilizada, o tenerse ésta que limpiar continuamente. En las copias coloreadas con colores de agua, cualquier anotación se puede hacer limpiamente, inclusive con lápiz negro, y borrarse si es necesario, sin dejar huella alguna.
- 3o.—En el trabajo de campo las copias coloreadas con color de agua, resisten mucho más las inclemencias del tiempo, sin decolorarse, por ser sus colores más fijos que los de los lápices.

Los colores de agua se pueden adquirir en los comercios de fotografías, en forma de librillos o bloques, formados por finas cartulinas cubiertas por un polvillo de color, que se disuelve en el agua rápidamente, pudiéndose dar el tono que interese de cada color o mezclar estos, con más o menos agua, simplemente. También se usan colores concentrados en forma de esencias que se disuelven en el agua. Entre los librillos de colores de agua, son los más recomendables y fáciles de adquirir, los "Velox", de Kodak, y entre los concentrados, los "Martin's Water Colors", en venta en los comercios de artículos de dibujo y pintura.

Para iluminar los mapas con estos colores se emplean pinceles finos, de pelo de marta, por ejemplo, y de varios números o tamaños, con objeto de poder colorear cómodamente, tanto las superficies extensas como las reducidas o de detalle, sin salirse de sus límites.

El "mapa fotogeológico preliminar", ya coloreado, constituye el más precioso documento de que puede disponer un geólogo, para iniciar un reconocimiento geológico de campo, y la base más sólida para confeccionar el "mapa geológico", con un mínimo de tiempo y de esfuerzos.

APENDICE A

LA EXAGERACION VERTICAL O DEL RELIEVE EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS

El modelo tridimensional, espacial, o perceptivo, que estos son algunos de los muchos nombres con que se denomina al modelo mental en relieve, que se obtiene mediante la observación estereoscópica de dos fotografías aéreas consecutivas, provistas del necesario recubrimiento, solamente reproduce con fidelidad el terreno real, del cual es imagen, en contadas ocasiones. Por lo común, el verdadero relieve aparece exagerado en el modelo estereoscópico, fenómeno que se produce cuando existe desequilibrio entre las escalas vertical y horizontal del modelo, en más o menos, con relación a las mismas escalas reales del área reproducida.

Este fenómeno, no había sido considerado hasta hace relativamente poco tiempo, con la atención que se merece, pese a su extraordinaria importancia, que se deriva, no solamente de la "exageración vertical" considerada en sí misma, sino de sus consecuencias en la deformación, también exagerada en más o en menos, del ángulo de inclinación de las pendientes, circunstancias que se refleja, a su vez, en los análisis foto-geológicos incluyendo en éstos los fisiográficos y los geomorfológicos así como en los estudios fotointerpretativos, en general.

La razón fundamental de la "exageración de la escala vertical" de una fotografía aérea, al ser observada por medio del estereoscopio —según Charles I. Miller, 1958— es el hecho de que el ojo humano, considerado como instrumento óptico, es defectuoso. Por esto, y por variar el grado relativo de este factor, de un observador a otro, resultan también diferentes, por lo general, las observaciones verificadas por distintas personas, de las cuales, unas podrán apreciar en más la exageración vertical y otras en menos, acercándose otras a la realidad, independientemente de los demás factores que afectan a la "exageración vertical".

La imagen fotográfica aérea puede ser, por lo tanto, "ortoplástica", cuando la escala vertical del modelo se acomoda a la verdadera escala vertical del terreno; "hiperplástica", cuando la imagen tiene una escala vertical mayor que la real, en cuyo caso se denomina "exageración vertical positiva" al fenómeno consecuente; e "hipoplástica", cuando la imagen espacial tiene una escala vertical menor que la verdadera, denominándose entonces al fenómeno, "exageración vertical negativa".

La regla que facilita la base para la evaluación de la imagen espacial, fué establecida por Heine, en 1902*. Según ella, para que se produzca una imagen espacial es necesario "que la distancia desde los ojos a un plano frontal dado y la distancia interpupilar, se encuentren en la misma relación que la distancia real al plano frontal dado, desde la línea-base de la cámara y la longitud de la línea-base".

Esta relación puede formularse, según Charles I. Miller (1958), así:

$$S/e = H/B \text{ o, como } H/B = F/P, S/e = F/P$$

en la que, S es la distancia aparente de los ojos a un plano frontal dado en la imagen espacial; e es la distancia interpupilar o base ocular; H la distancia real a un plano frontal dado desde la línea-base de la cámara; B es la longitud de la línea-base de la cámara, o distancia entre las estaciones fotográficas aéreas; F es la distancia focal de la lente de la cámara; y, P es el paralaje absoluto de un punto, a la distancia H.

Las Figs. 88 A y B ilustran el significado de estas relaciones. La Fig. 88 A representa la vista de un cerro fotografiado desde dos puntos, en este caso, dos estaciones fotográficas aéreas. Si el par estereoscópico se acomoda y observa, de forma que la imagen espacial sea vista a la distancia ortoplástica S, por ejemplo, S/e igual a H/B la imagen será "ortoplástica", tal como se muestra en la Fig. 88 B. Pero si la imagen es vista a mayor distancia, S/e mayor que H/B, la imagen será "hiperplástica"; y, si la distancia más corta, S/e menor que H/B, la imagen será "hipoplástica".

De lo expuesto, resulta evidente la notable deformación hiperplástica que se produce al observar las fotografías aéreas, puesto que por hábito general de la visión raramente se observan los objetos a una distancia menor de 25 centímetros. En consecuencia, si la relación H/B es tal, que la distancia S, para una imagen espacial ortoplástica, es menor de 25 centímetros, como suele ocurrir cuando se observan fotografías aéreas, la imagen no será vista a la distancia ortoplástica, sino a una dis-

* Ver Trump, R. J. - "Binocular Vision and the Stereoscopic Sense", Transactions of the Optical Society, London, 1924, 25, 261-272.

tancia superior a los 25 centímetros, lo que produce la exageración del relieve.

En las fotografías de paisajes, hechas estereoscópicamente, sean o no aéreas, siendo B igual a e , la distancia S para una imagen ortoplástica deberá ser igual a H . Sin embargo, la imagen espacial se localizará mucho más cerca de los ojos, y será hipoplástica.

En cuanto a la fórmula para evaluar el grado de deformación del modelo tridimensional, que varía directamente con los cambios en la relación entre S/e y H/B o F/P , se puede expresar del modo siguiente, según el mismo autor Charles I. Miller (1958), considerando la exageración vertical (E):

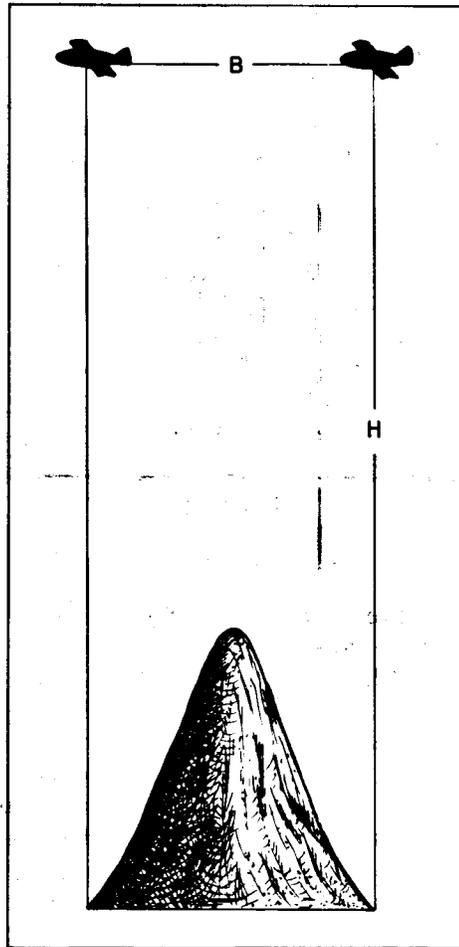


Fig. 88-A

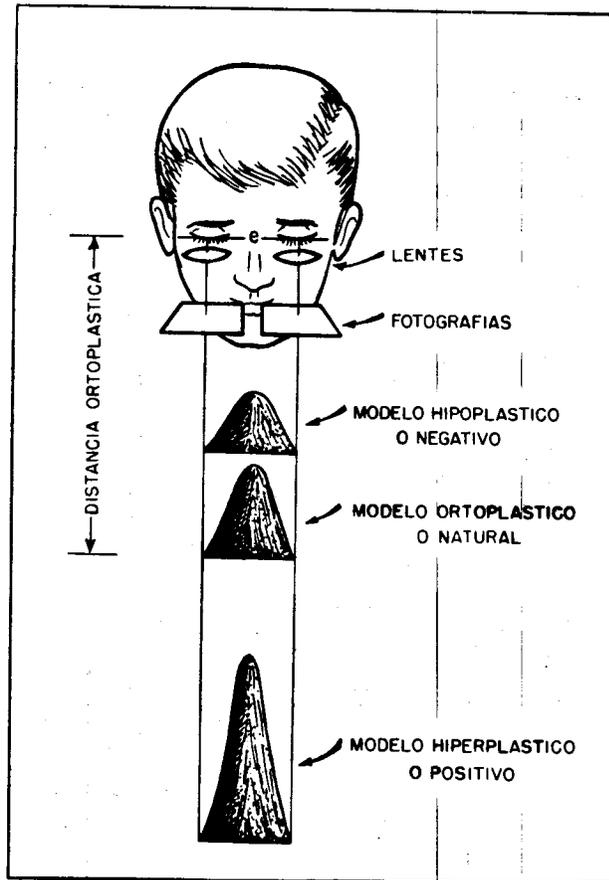


Fig. 88-B

$$E = \frac{S/e}{H/B} = \frac{SB}{e/H} \text{ o } E = \frac{S/e}{F/P} = \frac{S/P}{e/F}$$

En esta fórmula, si E es igual a uno, el efecto es ortoplástico; si mayor que uno, es hiperplástico; y, si menor que uno, hipoplástico. Un valor de dos, indica que un cerro con una pendiente real de 50 por 100, tendrá una pendiente aparente en la imagen o modelo espacial, de 100 por 100. De la misma manera cambia la apariencia de los techos de los edificios, es decir, el porcentaje de pendiente aparente se incrementa E veces. Igualmente, las dimensiones verticales aparentes se incrementan E ve-

ces, en relación con sus dimensiones horizontales, y lo mismo sucede con los árboles, por ejemplo, cuya altura parecerá aumentar E veces, en comparación con la de un correcto modelo a escala.

Todos los factores analíticos clave, que integran el sistema de identificación de las imágenes en las fotografías aéreas, pero principalmente los constituídos por las "formas topográficas o relieve terrestre", las "alineaciones o rasgos alineados", el "lugar, sitio o emplazamiento", la "posición o gradiente" y, finalmente, la "ruptura de pendiente", que corresponden al tercer grupo de reglas fundamentales fotogeológicas, integrado por elementos derivados de la topografía —tal y como ésta se puede observar por medio del estereoscopio en los pares fotográficos aéreos— se encuentran directa o indirectamente afectados y, en mayor o menor grado, según los casos, por la "exageración del relieve" o "exageración de la escala vertical".

En efecto, tales factores, como por ejemplo, los constitutivos de "rupturas de pendiente", ya sean éstas, "cuestas", "hog-backs", "crestas", etc., se encuentran tipificados por el grado de inclinación de la pendiente, como ya se ha visto, y esta pendiente o, al menos, tal como se la observa bajo el estereoscopio, depende a su vez, en cuanto a la sensación de mayor o menor inclinación que produce en el observador, del fenómeno denominado "exageración del relieve".

Al igual que la "ruptura de pendiente" se encuentra afectado en gran manera, por la "exageración del relieve", otro factor topográfico: la "posición o gradiente". Y, juntamente con todos los elementos del "relieve", los factores analíticos derivados de la fisiografía y de la geomorfología, que integran el cuarto grupo de las reglas, así como los "suelos" y la "vegetación", del quinto grupo.

Resulta así, fundamental, este elemento tan importante, de forma que se hace preciso tenerlo siempre en mente, al aplicar los factores analíticos al estudio de las formas terrestres, especialmente por lo que se refiere a los anteriormente mencionados, ya que son los más afectados. Para el observador experimentado, la corrección inherente a la "exageración del relieve", que sufren la casi totalidad de las fotografías aéreas, asociada a la producida por los instrumentos que se utilizan en su estudio, se hace de un modo casi automático y espontáneamente. Y, claro es, de la experiencia del observador dependerá el grado de acierto de la corrección, la cual podrá llegar hasta ser exacta, reduciendo la "exageración vertical" hasta lograr el dato observado en sus términos reales, cosa que con la práctica, se alcanza con relativa facilidad.

Este problema de la "exageración del relieve" en las fotografías aéreas estereoscópicamente observadas, ha sido insistentemente considerado por los tratadistas de temas con ellas relacionados, especialmen-

te en los últimos años, sin llegarse a conclusiones generales definitivas ni concordantes, por lo que permanece sin resolver satisfactoriamente. Se debe esta disparidad de criterios, principalmente, a que los diversos autores interesados en tales problemas los han enfocado desde distintos puntos de vista, según se trate del análisis identificativo o del interpretativo de los rasgos contenidos en las fotografías aéreas, o de las derivaciones de carácter fotogramétrico originadas por el empleo de aparatos reproductores en la evaluación cuantitativa de esos mismos rasgos.

Por otra parte, algunos de estos autores, se han propuesto en sus trabajos demostrar matemáticamente las complejas razones de la "exageración del relieve", sin conseguir tampoco otro resultado que llegar a conclusiones contradictorias, mientras la mayoría de ellos se ha limitado a señalar la existencia del fenómeno y a recomendar el empleo de diversos métodos, más o menos precisos, para verificar las necesarias correcciones y lograr que los datos que se obtengan, por la evaluación del grado de inclinación de las pendientes, en los pares fotográficos estereoscópicos, sean lo más exactos posibles o, cuando menos, admisibles.

La dificultad mayor que obstruye la tarea de verificar dichas evaluaciones, reside en el hecho de que, aunque la "exageración vertical" es un factor constante a través del modelo estereoscópico, la deformación del modelo es de efectos variables y, mientras algunas de tales deformaciones pueden ser sistemáticamente medidas, otras, de naturaleza errática, solo pueden precisarse en términos generales.

Para Kirk H. Stone (1951), la "exageración vertical" es una relación de apariencia, que considera como "la altura aparente de los objetos en la estereovisión, tal y como éstos son vistos con el estereoscopio". Su fórmula empírica para computar dicha "exageración" se basa en cuatro medidas, como sigue:

$$\frac{\text{Distancia del borde de las fotografías.}}{\text{Distancia interpupilar.}} = \frac{\text{Distancia focal de la cámara.}}{\text{Distancia focal del estereoscopio.}}$$

Robert F. Thurrell (1953), define la "exageración vertical" como "el cambio creado en la superficie de un modelo por la aparente elevación proporcional de altura de todos los puntos sobre el nivel-base, mientras retiene la misma escala base". A estos cambios relativos de escala, que se producen en los ejes paralelos al eje óptico de la cámara, es a lo que se denomina "exageración".

Según el mismo autor, la "cantidad de exageración" puede definirse como "la altura aparente en distancia de una unidad vertical, dividida por la longitud aparente de una distancia horizontal igual" o, como lo

expresa Víctor C. Miller (1953), “la relación de la escala vertical a la escala horizontal”.

Para comprender mejor el problema, conviene tener presente que, los factores que afectan en la percepción de sus dimensiones, al modelo estereoscópico, no son solamente los que motivan la “exageración vertical”, sino otros más, que se agrupan con la denominación general de “deformación del modelo”, todos los cuales pueden, a su vez, ser subdivididos en otros dos grandes grupos: “fotográficos” y “estereoscópicos”, del modo que se indica a continuación, según R. F. Thurrell (1953) (Fig. 89):

I) Exageración vertical

a) Causas estereoscópicas de la exageración vertical.

1. Distancia visual.—A medida que aumenta la distancia visual o dis-

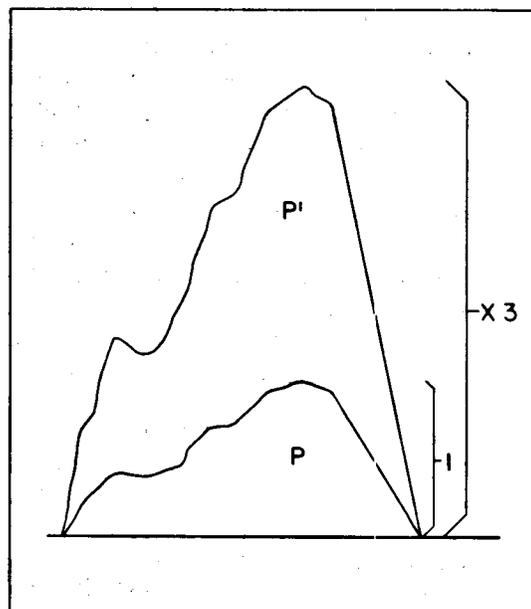


Figura 89

La doble sección muestra el verdadero perfil del terreno (P) y el efecto de triplicar la exageración vertical (P'). (Según Robert F. Thurrell).

tancia entre el ojo y la fotografía, disminuye la escala horizontal del modelo estereoscópico, mientras la escala vertical permanece casi constante, con el consiguiente resultado de aumentarse así, la exageración vertical.

2. Separación de las fotografías.—Con la práctica es posible aumentar la distancia que separa las dos fotografías del par estereoscópico, dos, tres, y hasta cinco centímetros, reteniendo la fusión estereoscópica de las dos imágenes fotográficas. Sin embargo, como dicha separación de las fotografías del par estereoscópico es siempre igual para el mismo individuo, dicha separación excesiva motiva que se viole la visión al forzarse la posición natural de los ojos. Cuando se usan estereoscopios dióptricos simples, la separación de las fotografías debe ser de unos cinco a diez milímetros menos que la distancia interpupilar del observador, es decir, unos 55 milímetros.

3. Distancia interpupilar o base ocular.—Varía mucho de unas personas a otras, desde 55 a 70 milímetros, por ejemplo, con un promedio general entre 60 y 65 milímetros, exactamente de 62 y medio milímetros. El modelo estereoscópico se observa exagerado tanto más, cuanto menor es la distancia interpupilar. Se ha observado que, para cada 5 milímetros de disminución de la distancia interpupilar, corresponde un 10 por 100 de promedio de aumento de la exageración vertical.

4. Aumento.—La “exageración vertical” varía directamente en razón del aumento de la imagen producida por las lentes del estereoscopio.

b) Causas fotográficas de la exageración vertical.

1. Escala de la fotografía.—La escala de la fotografía depende de la altitud y de la distancia focal. La “exageración vertical” varía, pues, directamente con la escala, cuando la altura de la cámara varía, pero es constante cuando la escala varía al cambiar la distancia focal a una altura dada.

2. Elevación sobre el terreno.—La “exageración vertical” varía inversamente con la altura, cuando los otros factores permanecen constantes.

3. Base aérea.—La “exageración vertical” varía directamente con la base aérea, o distancia entre dos estaciones fotográficas aéreas, cuando los demás factores permanecen constantes.

(Los tres factores anteriores, son los que más directamente afectan a la “exageración vertical”. La distancia focal no afecta a la “exageración”. Sin embargo, como la escala no ofrece datos utilizables por sí misma, es corriente expresarla en términos de altura, relación que es conocida como “base-altura”).

4. Relieve del terreno.—Para cada unidad de aumento de elevación,

dentro del modelo estereoscópico, la "exageración vertical" solo aumenta ligeramente, por cuyo motivo no se necesita aplicar ningún factor de corrección. Si las diferencias de elevación, dentro del modelo tridimensional, sobrepasan el 40 por 100 de la altura de vuelo, el error es suficiente como para que este método de evaluación no se aplique en las elevaciones mayores.

II) Deformación del modelo.

a) Causas estereoscópicas de la deformación del modelo.

1. Rotación o giro de las fotografías.—El modo apropiado de observar los pares estereoscópicos consiste en disponer la línea de la base ocular paralela a la línea de azimut de las fotografías. El movimiento rotativo de las fotografías origina una inclinación artificial de la superficie de la imagen observada.

2. Posición visual.—Al examinar cualquier porción de un modelo estereoscópico, el método correcto consiste en mover el estereoscopio, de modo que el plano visual sea vertical al plano horizontal de las fotografías. Cuando el plano visual está inclinado, el modelo resulta deformado en la medida correspondiente.

b) Causas fotográficas de la deformación del modelo.

1. Inclinación.—La inclinación del par estereoscópico se hace evidente al observador cuando hay diferencia de configuración de drenaje en la misma área. Si las fotografías se acomodan, en un intento de compensar tal inclinación, se originan anomalías locales en los valores del paralaje, que resultan más graves que los producidos por la inclinación misma. Es preferible desechar tales fotografías, aunque una inclinación pequeña no afectará a los valores de pendientes con exceso de 5 grados.

2. Óptica.—Las lentes de las cámaras actuales, son de tan buena calidad, que las pequeñas deformaciones de las lentes de menor distancia focal, son insignificantes en sus relaciones con los demás factores.

Resume Víctor C. Miller (1961), la influencia de los principales factores mencionados, sobre la "exageración vertical", diciendo que ésta varía:

Directamente con la "distancia visual" (d).

Directamente con la "separación de las fotografías" (s).

Inversamente con la "base ocular" o "distancia interpupilar" (E).

Inversamente con la "distancia focal de la cámara (f).

Directamente con la "base aérea". (Inversamente con el "recubrimiento") (B)⁺

Inversamente con la altura de la cámara.

Con estas variables, el mismo autor integra la siguiente expresión cualitativa, que no trata de que constituya una fórmula o ecuación, del modo siguiente:

$$X \propto \frac{B d s}{f H E}$$

en la que X es el factor "exageración vertical".

Para Robert Singleton (1956), el concepto de "exageración vertical" varía según se trate de:

1. "Exageración vertical en sentido general", es decir, la relación entre la escala vertical y la escala horizontal, para grandes objetos —como montañas, por ejemplo— o para grandes distancias en el espacio, considerado en conjunto.

2. "Exageración vertical en sentido local", o relación de la escala vertical a la horizontal, para pequeños objetos —como edificios, por ejemplo— o escalas diferenciales.

3. "Exageración de la pendiente", o sea, relación de los ángulos verticales o de sus tangentes, o de otras funciones.

Sin embargo, la "exageración del relieve" no siempre constituye un obstáculo en la tarea de identificar correctamente, en sus medidas reales, las imágenes fotográficas aéreas, por medio del estereoscopio, pues, en ocasiones, y gracias a esta exageración, se logran percibir distintamente, objetos de relieve tan pequeño como 25 ó 30 centímetros, tales como los surcos de un arado. Por ello, en la labor de identificación de las imágenes, la "exageración del relieve" es tanto más importante cuanto menores sean las elevaciones, por ser en éstas más significativas las consiguientes diferencias en el modelo tridimensional.

Entre los factores que más directamente influyen en la deformación de la visión estereoscópica, según Phillip S. Kistler (1947), figura la "perspectiva", que define como "las relaciones entre el tamaño de la imagen y la distancia del objeto".

Si los objetos que observamos ya nos son conocidos, por nuestra previa experiencia visual, automáticamente logramos obtener una impresión de la distancia aproximada a que se encuentran, al reflejarse en

nuestras retinas con imágenes de determinado tamaño, cuando se encuentran a distancias dadas.

Pero esta experiencia visual humana no alcanza a las imágenes fotográficas, pues si bien los sistemas ópticos de las cámaras fotográficas no deforman las perspectivas verdaderas, en teoría, en la realidad sí se deforman, por el distinto acomodamiento de la distancia focal y la del objeto.

Sin embargo, en realidad, la perspectiva fotográfica no sufre deformación y, lo que simplemente ocurre es que, el sistema ocular no permite percibir un duplicado de la misma escena con los mismos valores de perspectiva. Así, cuando una fotografía es observada a la distancia visual normal, las diversas imágenes fotográficas que contiene, así como sus relaciones, tamaño, etc., no pueden duplicarse en la retina, y como dichas imágenes fotográficas no caen dentro de la experiencia visual, la perspectiva aparenta estar deformada.

Lo mismo ocurre con fotografías corrientes, retratos principalmente, en los que los diversos miembros de la persona retratada aparentan deformaciones por las diferentes distancias que se encuentran de la lente de la cámara y las distintas perspectivas que ofrecen, en consecuencia. Una persona sentada o echada, con los pies extendidos hacia la cámara, ofrecerá una impresión exagerada de dichas extremidades, por aparecer considerablemente aumentadas de tamaño, y lo mismo sucede si se trata de un retrato hecho a corta distancia, en el que las narices aparecerán notoriamente agrandadas, precisamente a causa de la "exageración de la escala vertical".

Al observarse una fotografía aérea se registran imágenes de los objetos y rasgos reales de la superficie terrestre en ella reproducidos, y estas imágenes, a su vez, arrojan una segunda imagen sobre la retina del ojo. Las relaciones de perspectiva entre éstas y aquéllas se ajustan matemáticamente, según la fórmula:

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{V}{F} *$$

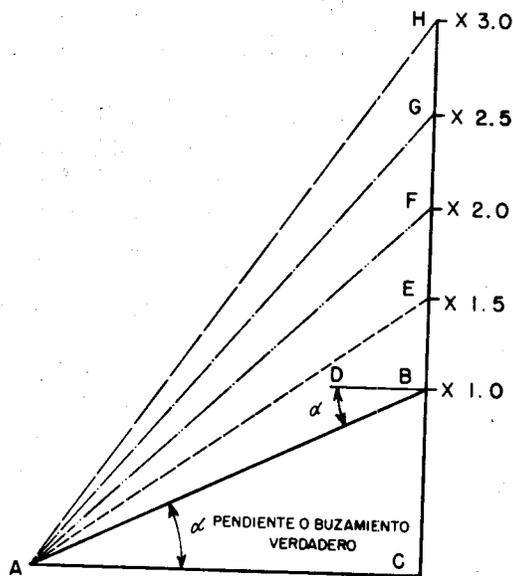
Puede comprobarse, pues, que para que la retina registre una imagen del mismo tamaño que la del objeto real, la distancia visual debe ser igual a la distancia focal, y como en el promedio de las personas la distancia visual viene a ser de unos 30 centímetros (12 pulgadas), para que las

* En la fórmula: i_2 es la imagen arrojada sobre la retina por la fotografía; i_1 es la imagen arrojada por el objeto real; V , es la distancia visual, o del ojo a la fotografía; y, F , la distancia focal de la lente de la cámara.

imágenes fotográficas arrojadas sobre la retina lo sean sin deformar, la lente de la cámara con que se hayan tomado las correspondientes fotografías aéreas, deberá tener también una distancia focal de 30 centímetros.

Uno de los métodos para corregir la "exageración vertical", es el propuesto por V. C. Miller (1950). Dicho autor se basa en el hecho de que, como las fotografías aéreas son hechas a diferentes escalas, con cámaras de distinta distancia focal y desde diversas alturas, la "exageración vertical" es también desigual; sin embargo, para fotografías correspondientes al mismo vuelo, o para fotografías de vuelos adyacentes, hechas a escala aproximadamente igual y con el mismo equipo, se puede admitir que la "exageración vertical" es prácticamente uniforme para todas las fotografías del grupo, lo que es cierto, si hay uniformidad en la separación aproximada de los centros o puntos principales de las fotografías consecutivas. Entonces, si la magnitud de la exageración aumenta y puede ser determinada, resulta posible establecer una relación definida entre la inclinación verdadera y la aparente, entendiéndose por "aparente", la imagen tal y como aparece en la fotografía aérea. Por lo tanto, las pendientes "aparentes" serán las "verdaderas", verticalmente deformadas o exageradas.

Así, en la Fig. 90, se puede ver:



(SEGUN VICTOR C. MILLER)

Figura 90

$\angle A B C$ representa el verdadero valor del ángulo o inclinación.

$\angle B A C = \angle A B D$ (por tener lados paralelos).

Entonces $\angle B A C$ representa el ángulo verdadero.

El lado $C B$ representa la verdadera altura o relieve topográfico.

Si una exageración vertical $X 1.5$ existe en la fotografía, en ese ángulo, altura $C B$ aparecerá como $C E$, es decir, 1.5 veces mayor que la altura original $C B$.

$\angle E A C$ será entonces la inclinación aparente, tal como se puede ver a través de la lentes del estereoscopio.

Igualmente, con aumentos de $X 2.0$, $X 2.5$, y $X 3.0$, la inclinación aparecerá igual a $\angle F A C$, $\angle G A C$, y $\angle H A C$.

Por geometría plana se puede observar que las líneas $C B$, $C E$, $C F$, $C G$ y $C H$, son equivalentes a las tangentes de sus respectivos ángulos de inclinación aparente, puesto que la base $A C$ es constante en todos los casos. Esto conduce a determinar un hecho extraordinariamente importante: el de que la exageración de la pendiente o inclinación *no es* directamente proporcional a la exageración vertical.

La relación entre la inclinación aparente y la verdadera, puede registrarse en papel milimétrico (*Fig. 91*); la inclinación verdadera registrada a lo largo del eje horizontal, y la aparente a lo largo del eje vertical. Si, por ejemplo, el ángulo verdadero es de 30° , los aumentos $X 1.5$, $X 2.0$, $X 2.5$ y $X 3.0$, darán ángulos aparentes correspondientes a pendientes de 41° , 49° , 55° y $1/2$, y 60° , respectivamente.

Dibujos similares al de la *Fig. 90*, hechos para ángulos verdaderos, desde 1° a 85° , determinaron las líneas reproducidas en la *Fig. 91*, en la que se muestran las diferentes "exageraciones".

Esto quiere decir que, si se puede determinar la "exageración vertical" o "aumento" de un par de fotografías aéreas estereoscópicas o de un grupo de ellas, consecutivas, se dispone de un medio para reducir los ángulos aparentes, o inclinaciones estimadas, a valores más exactos y más cercanos a los verdaderos.

La figura 91 muestra, además, de las líneas que representan gráficamente las diferentes exageraciones verticales consideradas, once puntos separados. Uno cae sobre la línea $X 3.0$; otro, cerca de la línea $X 2.0$. Los demás se hallan esparcidos en las zonas intermedias, coincidiendo aproximadamente la posición media con la línea de exageración $X 2.5$.

Dichos puntos se determinaron del siguiente modo:

1.—Sobre mapas topográficos que cubren un área correspondiente a la del juego de fotografías aéreas consideradas, se escogieron once pendientes diferentes de gradiente constante. Conocida la escala del mapa y el intervalo entre curvas de nivel, resulta fácil determinar la magnitud

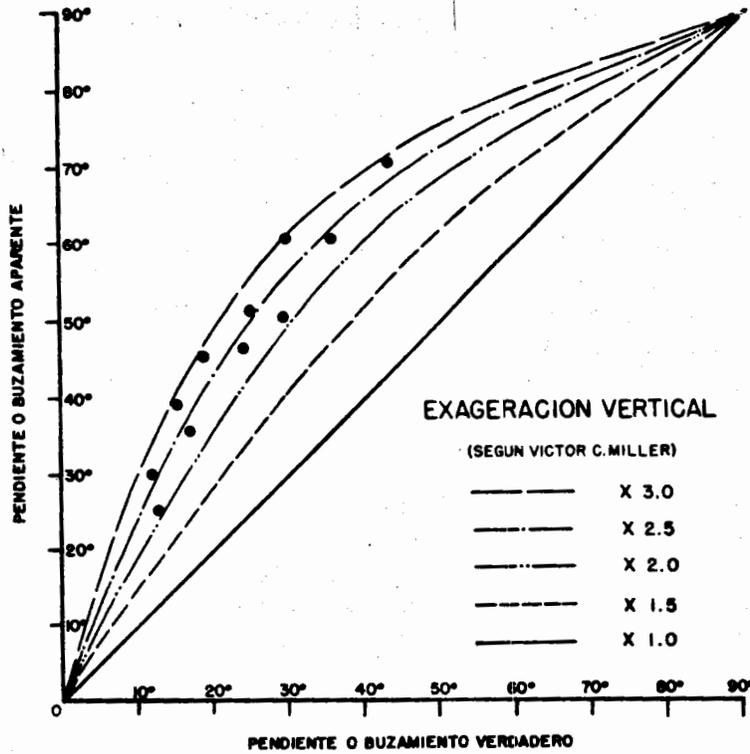


Fig. 91

real (o verdadera) de cada pendiente, bien por trigonometría, o median las longitudes horizontal y vertical de las escalas.

2.—Las pendientes medidas en los mapas se localizaron en las fotografías aéreas, estimándose también las correspondientes magnitudes aparentes.

3.—De este modo se obtuvieron dos valores para cada pendiente; la “aparente” y la “verdadera”, transportándose tales datos a la gráfica. Así, por ejemplo, una pendiente cuyo verdadero gradiente era de 36° , aparenta ser de 60° , vista con el estereoscopio. Otra, que en las fotografías aparecía de 35° , se halló era de 17° en la realidad.

Aunque dichos puntos no caen sobre una línea de constante exageración, sin embargo están lo suficientemente cerca del valor X 2.5, como para garantizar el supuesto de que esa es la exageración vertical del promedio, aproximado, de las fotografías.

Las estimaciones de inclinaciones aparentes, aún para observadores experimentados, están casi siempre sujetas a errores de algunos grados. Si el análisis de las fotografías aéreas es acompañado o sigue a un tra-

bajo preliminar de campo, la medida en el mismo de un suficiente número de pendientes o buzamientos, mediante brújula Brunton o plancheta, permitirá la determinación de la exageración en las fotografías. Y, una vez precisada esta exageración vertical, se puede rápida y cómodamente, reducir las aparentes futuras inclinaciones, o las estimadas, a valores verdaderos. Estimada la inclinación, tal y como se observa bajo el estereoscopio, se transfiere su valor, y se lee la correspondiente inclinación verdadera.

Cuando no se dispone de mapa ni de control terrestre alguno, es presumible que las exageraciones estimadas sean de valor considerable. Como se desconoce el valor de éstas, las pendientes o buzamientos correspondientes tendrán, unas con otras, una constante y sensible relación, lo que facilitará las correcciones, una vez realizadas las verificaciones de campo, por ser uniforme el error. Una exageración vertical muy común, es aproximadamente de X 2.5, por lo que resulta correcto estimar con tal magnitud, en estos casos, las supuestas exageraciones.

El método propuesto por Robert F. Thurrell (1953), subraya el valor de los factores "recubrimiento" y "desplazamiento-radial", en la estimación de la exageración o deformación de las imágenes en las fotografías aéreas, y en su corrección, en términos de la relación base-altura.

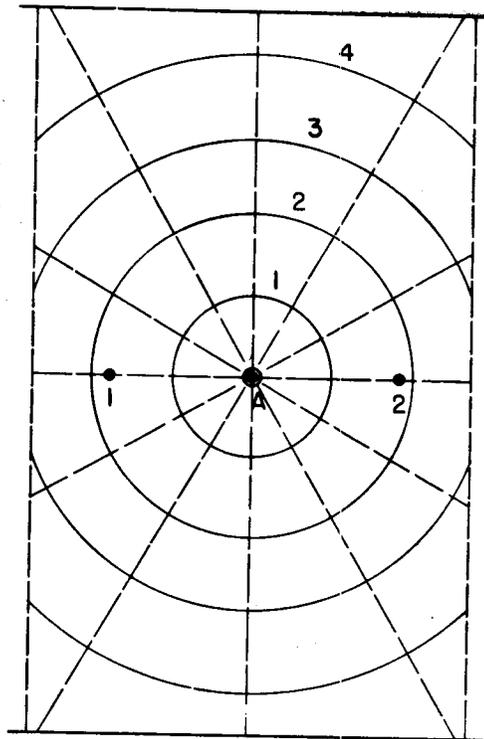
El cuadro No. 6 muestra dicha relación para cambios en recubrimiento de diferentes tipos de fotografías. Cuando son conocidos, el tamaño de la fotografía y la longitud focal de la lente de la cámara, la determinación del porcentaje de recubrimiento de las fotografías, directamente conduce a la lectura del factor promedio de exageración. Aplicando este factor al cuadro No. 7 (lista de valores numéricos), los ángulos estimados de inclinación o pendiente pueden ser convertidos en los verdaderos registros en las fotografías. Como se necesita una corrección para el desplazamiento radial de las imágenes en las fotografías, el efecto de este desplazamiento debe ser considerado antes de procederse a obtener el ángulo verdadero.

CUADRO 6

TAMAÑO DE LA FOTOGRAFIA	TANTO POR CIENTO DE RECUBRIMIENTO									
	90	80	70	60	50					
7X9 12" d.f.	_____									
9X9 12" d.f.	90	80	70	60	50					
7X9 8.25" d.f.	_____									
9X9 8.25" d.f.	90	80	70	60	50					
7X9 6" d.f.	_____									
9X9 6" d.f.	90		80	70	60					
9X9 5.2" d.f.	_____									
9X9 4.2" d.f.	_____									
	.07	0.1	.218	0.3	0.4	0.436	0.5	0.6	0.7	
	RELACION BASE AEREA-ALTURA DE VUELO									

En el modelo estereoscópico, los puntos desplazados se observan incorrectamente situados (*Fig. 92*), porque estos puntos se desplazan radialmente a partir del punto medio estereoscópico, que se localiza entre los puntos centrales de dos fotografías. Por lo tanto, si el rumbo de una pendiente topográfica o de un estrato rocoso, sigue una dirección radial a partir de dicho punto medio, todo el desplazamiento aparecerá sesgado u oblicuo y, el ángulo de pendiente no se deformará. Si, por el contrario, el rumbo de dicha pendiente o estrato es tangente a un círculo, cuyo centro es el punto medio estereoscópico, se producirá el máximo error, o de deformación de la inclinación. Los ángulos de pendiente registrados en las fotografías, hacia el centro de las mismas, son menores que los ángulos verdaderos, mientras que las pendientes registradas a partir del centro y hacia afuera, son mayores que los ángulos verdaderos. La cantidad de error, exageración o deformación, dependerá de los cuatro factores siguientes:

- 1.—Ángulo de pendiente o de buzamiento.
- 2.—Distancia desde el punto medio o centro estereoscópico, (punto principal).
- 3.—Longitud focal de la lente de la cámara.
- 4.—Dirección del rumbo de la pendiente en relación con los radios.



(SEGUN ROBERT F. THURRELL)

Fig. 92

El Cuadro Núm. 8, que figura a continuación, indica la cantidad de corrección que debe aplicarse a la Fig. 92.

La Fig. 93 muestra como, para determinar la exageración vertical, es necesario conocer la distancia focal, el tamaño de la fotografía, y el recubrimiento del par estereoscópico, así como las relaciones existentes entre estos factores. El factor derivado se aplica en el Cuadro Núm. 7. La pendiente o inclinación estimada en el estereograma, se localiza bajo la columna determinada en esta figura y se procede a la lectura de la inclinación registrada.

El examen de los datos anteriores, demuestra que las pendientes o inclinaciones del terreno mayores de 45° , no pueden ser evaluadas con una exactitud admisible. El corto margen de la inclinación aparente y la cantidad de error determinada por la posición en la fotografía, da lugar a estimaciones menos exactas. En cambio, pendientes del terreno menores de 45° , pueden ser determinadas con pequeñas tolerancias.

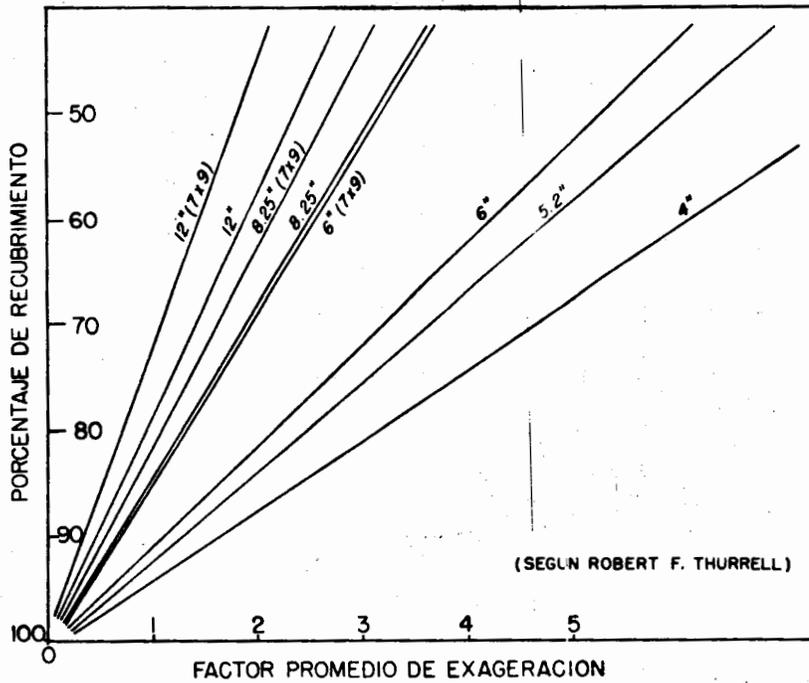


Fig. 93

Finalmente, y aunque no existe todavía un instrumento capaz de medir con precisión las deformaciones que sufre el modelo estereoscópico, es decir, de calcular la inclinación aparente que mentalmente registra el observador al recibir la impresión de la imagen fusionada verdadera. sí se han diseñado algunos, más o menos todavía en estado de experimentación, con dicho objeto.

En realidad, estos instrumentos, persiguen el objetivo de medir exactamente los ángulos de pendiente, de un modo rápido y poco complicado, por cuyo motivo se encuentran ocupando un lugar intermedio, entre el sencillo método de apreciar dicho ángulo "a ojo", y el preciso, pero lento, de evaluarlo por métodos fotogramétricos, no siempre asequibles.

Robert J. Hackman (1956), describe uno de estos instrumentos, el denominado "comparador estereoscópico de inclinación", más corrientemente conocido entre los profesionales como "Super Dupper Dipper". Con este instrumento se mide en el modelo estereoscópico, el ángulo exagerado de pendiente y se reduce el ángulo verdadero, mediante el

CUADRO NUMERO 7

Inclinación registrada (en grados)

Inclinación estimada cuando el factor de exageración vertical es igual a:

	X 2	X 2.5	X 3	X 3.5	X 4	X 4.5	X 5
0	0	0	0	0	0	0	0
1/2	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2	2 1/4	2 1/2
1	2	2 1/2	3	3 1/2	4	4 1/2	5
2	4	5	6	7	8	9	10
4	8	10	12	14	16	18	19
6	12	15	17	20	23	26	28
8	16	20	23	26	29	32	35
10	19	24	28	32	36	38	41
13	25	30	34	38	42	45	48
15	28	34	39	43	47	50	53
20	36	42	48	52	56	58	61
25	43	49	54	58	62	64	67
30	49	55	60	64	67	69	71
35	55	60	64	68	71	72	74
40	59	64	68	71	74	75	77
45	63	68	71	74	76	78	79
50	67	72	74	76	78	79	81
60	74	77	79	81	82	82	83
70	80	81	83	84	85	85	86
80	85	86	87	87	88	88	88
90	90	90	90	90	90	90	90

662

(Según Robert F. Thurrell. 1953)

CUADRO NUMERO 8

CORRECCIONES PARA DESPLAZAMIENTO MAXIMO DE ANGULOS REGISTRADOS EN LAS FOTOGRAFIAS*

Inclinación registrada (en grados)	Distancia desde el centro estereoscópico (en centímetros)			
0	0	0	0	0
10	0	1/4	1/2	1/2
20	1/2	1	1 1/2	2
30	1	2	4	2
40	2	4	6	8
50	3	5	8	11
60	4	7	11	14
70	4	8	13	15
80	5	9	14	17
90	5	10	14	18

* Sumar cuando la pendiente vaya hacia el centro; *restar* cuando la pendiente vaya hacia afuera del centro. Pendiente con 60°, hacia dentro o hacia afuera del centro estereoscópico, tienen un error igual a la mitad de los valores tabulados.

(Según Robert F. Thurrell, 1953).

empleo de dos aditamentos, designados respectivamente con los nombres de "modelo suplementario de inclinación" y "carta de conversión de inclinación". Este instrumento debe ser usado con estereoscopios que tengan acomodada la imagen con una distancia de 16.25 a 26.25 centímetros, y sean del tipo de amplia separación de los soportes, con objeto de que el campo estereoscópico no sufra obstrucción alguna durante el trabajo.

Consiste el instrumento, descrito a grandes rasgos, en dos cajas de engranajes, unidas a un bloque central de tubos deslizantes. De cada caja sale proyectado un eje en el que se montan unas tablillas o regletas. El movimiento de éstas se sincroniza con el acomodamiento de los engranajes alojados en las cajas, en cada una de las cuales, así como en el bloque central, se localizan los seis botones de control, que regulan los tres movimientos sincronizados de las tablillas o regletas: de "separación", "horizontal", y de "ángulo de inclinación".

El instrumento está equipado con seis pares de regletas comparativas, de diferentes tamaños, de las cuales sólo se usa un par al mismo tiempo, que se seleccionan para su empleo de acuerdo con la expresión superficial de la pendiente que deba medirse, tal y como se exhibe ésta en el modelo estereoscópico.

El "movimiento de separación" se controla con dos tornillos o botones, situados en el bloque central del instrumento, que se manejan lo mismo que los otros cuatro, con ambas manos simultáneamente. Al aflojarse estos tornillos se pueden rápidamente separar las dos cajas de engranajes, distanciándolas. El tornillo de la derecha debe ser apretado al obtenerse la separación aproximada requerida, mientras que con el de la izquierda se afina dicha separación.

El "movimiento horizontal" de los ejes proyectados, paralelo a la base del instrumento, se controla por medio de otros dos botones situados en los lados externos de cada una de las cajas de engranaje, respectivamente. Ajustados ambos ejes simultáneamente, se pueden fijar en cualquier posición deseada, dentro de un arco de 180° y, girando el instrumento 180° , en relación a la mesa de trabajo, con ajustamiento de los botones similares al anterior, se logra otro recorrido de 180° , completándose así, los 360° de movimiento.

El movimiento de "ángulo de inclinación" se controla igualmente por medio de otros dos botones, que se localizan lateralmente en las cajas dos engranajes. Ajustándose ambos ejes simultáneamente, las reglas pueden graduarse a cualquier ángulo de inclinación deseado. El ángulo se lee en indicadores en forma de transportador de dibujo, montados en cada caja de engranaje, calibrados en unidades de un grado, desde 0, cuando las reglas están en posición paralela a la base del instrumento, hasta

90°, cuando están en posición perpendicular a la base.

Con el instrumento descrito se compensan: 1) La longitud focal de la lente de la cámara; 2) La base fotográfica del par estereoscópico; 3) La separación de las imágenes en las fotografías; 4) La base ocular del observador, y; 5) La distancia visual, o sea, la existente entre las fotografías y los ojos del operador, de la siguiente manera:

1 - 2. Distancia focal y base topográfica o aérea.—El efecto de estos factores sobre la cantidad de exageración se compensa en los ángulos de inclinación verdadera computados, que muestra el “modelo suplementario de inclinación”.

3. Separación de la imagen.—Se compensa manteniendo la separación al medirse el ángulo de inclinación en el citado “modelo suplementario de inclinación”, y los ángulos de pendiente en el modelo estereoscópico. Como el efecto de separación de las imágenes en la exageración vertical permanece constante, puede ser omitido.

4 - 5. Base ocular y distancia visual.—La distancia interpupilar de un individuo es un factor constante, y también lo es la distancia visual de cualquier estereoscopio con aumento fijo. Cualquier exageración vertical causada por estos factores, afecta igualmente a las regletas del “modelo suplementario de inclinación” y al modelo tridimensional. En relación con este método de medida de inclinaciones, ambos factores pueden ser desechados.

El uso de este instrumento para medir ángulos de inclinación logra dos excelentes resultados: medidas rápidas de ángulos de inclinación en el modelo estereoscópico, y adiestramiento de personal nuevo en la percepción de la exageración vertical y en el conocimiento de los diversos factores que lo originan.

El modelo estereoscópico construido para experimentar el “comparador estereoscópico de inclinación”, contiene 108 ángulos, comprendidos entre los 2° y los 90°. Las pendientes han sido elegidas al azar, tanto por lo que respecta a localidades como a rumbos. La medida de los ángulos exagerados y su conversión a los ángulos verdaderos dió, en una experiencia, los siguientes resultados; ángulos de 2° a 4° de inclinación verdadera, se leyeron con un error máximo aproximado de 1°; ángulos de 20° a 25° de inclinación verdadera, se leyeron con un máximo error aproximado de 3°; ángulos verdaderos de 40° a 50°, dieron un error máximo, de más o menos 7°; y ángulos verdaderos de 80° a 90°, con un límite máximo de 10° de error.

Como puede observarse, los datos anteriores indican un incremento

de error a medida que la inclinación aumenta, lo que se debe principalmente al gran aumento en los valores de las tangentes de las pendientes muy inclinadas, como lo demuestra el siguiente ejemplo: con un factor de exageración 3.5, un ángulo de 17° de inclinación exagerada, representa un ángulo de 5° de inclinación verdadera. Si el ángulo de inclinación exagerada fuese erróneamente determinada como de 16° y 18° , el ángulo de inclinación verdadera sería de $4 \frac{3}{4}$ ó $5 \frac{1}{4}$; es decir, un grado en más o menos de error en la lectura de este bajo ángulo exagerado de inclinación, daría la respuesta correcta para el ángulo verdadero de pendiente.

Por otra parte, un ángulo exagerado de pendiente de 85° , representaría un ángulo verdadero de pendiente de 73° . Si este ángulo exagerado de inclinación se leyese erróneamente como de 84° u 86° , el ángulo verdadero de inclinación sería de $76 \frac{1}{4}$ ó $64 \frac{3}{4}$. Por lo tanto, un grado de error en más o en menos en la lectura de la exageración de la inclinación de la pendiente, causaría un error en más o en menos de 3° en el ángulo verdadero de inclinación.

El aumento de error a medida que el ángulo de inclinación se incrementa, se debe también a la mayor dificultad en la orientación de las regletas o tablillas del instrumento, puesto que a medida que el ángulo de inclinación aumenta, el plano visual de la pendiente generalmente disminuye en el modelo estereoscópico, lo que hace que sea menos exacto el apropiado alineamiento de las regletas.

Por lo que respecta a la compensación por el desplazamiento radial, ya se ha visto que todos los puntos sobre un plano que pasa por la elevación más baja registrada en una fotografía aérea se encuentran desplazados radialmente, a partir del centro de la misma, variando la cantidad de este desplazamiento con la altitud del punto en cuestión, sobre la del mencionado punto de menor elevación, con la distancia del mismo al centro de la fotografía, y con la distancia focal de la cámara empleada. Para compensar la exageración producida en el ángulo de inclinación observado estereoscópicamente, por dicho desplazamiento radial, se desplazan las regletas del instrumento de una manera similar, desde una perspectiva central que tiene su punto de origen en los oculares del estereoscopio. Si las fotografías se encuentran alineadas bajo el estereoscopio de un modo apropiado, el desplazamiento de las regletas compensa, en una gran parte, el de las imágenes fotográficas.

La cantidad de cambio aparente en la inclinación observada en el modelo tridimensional dependerá, por lo tanto, de la localización y dirección o rumbo de la inclinación. Por ello, la inclinación de las pendientes conocidas como de ángulo semejante, aparecerán distintas según las localizaciones y orientación de las mismas, dentro del modelo estereoscópico.

**CUADRO DE CORRELACION FOTOGEOLOGICA DE TIPOS DE CONFIGURACION HIDROGRAFICA
CON TOPOGRAFIA, LITOLOGIA, ESTRUCTURA, TECTONICA Y TIPO GENESICO DE DRENAJE**

TIPO	CONFIGURACION SUBTIPO	TOPOGRAFICA, LITOLOGIA, ESTRUCTURA, TECTONICA	TIPO GENESICO
Dendrítico	Subdentrítica	<p>Es la configuración más abundante y se presenta en rocas de todas clases. Denota homogeneidad de las rocas y ausencia de estructura. Se manifiesta:</p> <ul style="list-style-type: none"> -En rocas sedimentarias estratificadas homogéneas y horizontales. -En rocas sedimentarias estratificadas y plegadas, siempre que sus estratos ofrezcan la misma resistencia a la erosión, aunque no sean homogéneas. -En rocas ígneas macizas (como los granitos). -En rocas metamórficas cristalinas, por ofrecer igual resistencia a la erosión, gracias al metamorfismo, que borra toda las diferencias de dureza. -En tipos de ajustamiento a sistemas de fallas, o cuando el ciclo de erosión fluvial ha llegado a la madurez avanzada o a la vejez. -Donde hay pendiente inicial, los ríos troncales son de tipo: -Donde no hay pendiente o es muy pequeña, los ríos troncales son de tipo: 	<p>Consecuente Insecuente</p>
	Pinada	Indica el paralelismo de los tributarios y la presencia de una pronunciada pendiente, casi uniforme y poco común.	<p>Consecuente Consecuente</p>
	Asimétrica	La mayor abundancia de tributarios en una vertiente, con relación a la otra, revela mayor gradiente en la primera.	<p>Consecuente</p>
	Enrejado	Enrejada de falla	<p>Denota acomodamiento o ajustamiento a la estructura y tipifica rocas estratificadas plegadas con agudo buzamiento. Se produce por la desigual resistencia de los estratos inclinados, que afloran en fajas estrechas y paralelas, formando valles los tributarios de las capas blandas, y quedando como crestas divisorias las capas duras.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Las corrientes más largas, que siguen las capas blandas son de tipo: -Las tributarias de la vertiente del valle que concuerda con el buzamiento de los estratos, son de tipo: -Las tributarias de la vertiente que está en oposición o discordancia con el buzamiento de los estratos, son de tipo: -Se presenta cuando se ajusta a sistemas de fallas (u otras fracturas) para-

**CUADRO DE CORRELACION FOTOGEOLOGICA DE TIPOS DE CONFIGURACION HIDROGRAFICA
CON TOPOGRAFIA, LITOLOGIA, ESTRUCTURA, TECTONICA Y TIPO GENESICO DE DRENAJE**

TIPO	CONFIGURACION SUBTIPO	TOPOGRAFICA, LITOLOGIA, ESTRUCTURA, TECTONICA	TIPO GENESICO
Paralela		lelas, de "horts" y "grabens"; en bloques afallados; y en las crestas de los anticlinales. -Las corrientes paralelas al rumbo de los estratos, son de tipo: -Las corrientes paralelas al buzamiento de los estratos, son de tipo:	Subsecuente Consecuente o Resecuente
	Rectangular	Denota ajustamiento a los sistemas de diaclasas y fallas sobre estratos, horizontales y, también, a dichos sistemas sobre estratos plegados en regiones maduramente disecadas.	Consecuente y Subsecuente
	Angular	-Los tributarios forman con los principales diversos ángulos, sin llegar al recto, por ajustamiento a sistemas de fracturamiento semejantes.	Consecuente y Subsecuente
		-Denota pronunciada pendiente topográfica y control por estructuras plegadas paralelas o afalladas, que originan un espaciamiento paralelo, casi regular, de las corrientes. -Indica la presencia de rasgos topográficos paralelos, como en superficies glaciáricas con "drumlins". -Denota fallas paralelas.	Consecuente y Subsecuente Superglaciárico Consecuente Subsecuente y Resecuente
	Subparalela	-Denota los mismos rasgos que la paralela, pero más irregularmente.	Consecuente Subsecuente y Resecuente
Radial	Colinear	-Denota la presencia de rocas porosas, que hacen que parte de las corrientes sean subterráneas y otras no.	Consecuente
	Centrífuga	-Revela la presencia de anticlinales de forma cómica, conos volcánicos, intrusiones y otras estructuras de forma cónica y subcónica.	Consecuente
	Centrípeta	-Revela la presencia de cuencas endorreicas, formas estructurales positivas de relieve invertido por la erosión y cráteres volcánicos.	Consecuente
	Dicotómica Distributaria	-Tipifica a los abanicos aluviales. -Tipifica a los deltas fluviales.	Consecuente Consecuente Consecuente

**CUADRO DE CORRELACION FOTOGEOLOGICA DE TIPOS DE CONFIGURACION HIDROGRAFICA
CON TOPOGRAFIA, LITOLOGIA, ESTRUCTURA, TECTONICA Y TIPO GENESICO DE DRENAJE**

TIPO	CONFIGURACION SUBTIPO	TOPOGRAFICA, LITOLOGIA, ESTRUCTURA, TECTONICA	TIPO GENESICO
Anular		<p>—Denota la presencia de domos o anticlinales maduramente disecados, con fajas de estratos alternadamente duros y blandos de forma circular, acomodándose el drenaje a las rocas débiles; también revela la presencia de intrusiones.</p> <p>—Las corrientes que recogen todo el drenaje, son de tipo:</p> <p>—Los tributarios concordados con el buzamiento de los estratos, son de tipo:</p> <p>—Los tributarios discordados u opuestos al buzamiento de los estratos, son de tipo:</p>	<p>Consecuente</p> <p>Resecuente</p> <p>Obsecuente</p>
Trenzada		<p>—Propia de áreas planas, niveladas, con cursos de agua que se entrecruzan, como las llanuras de inundación o los deltas.</p>	Consecuente
Kárstica		<p>—En parte superficial y en parte subterránea, característica de las áreas con estratos de calizas horizontales.</p>	<p>Consecuente</p> <p>Insecuente o Subterráneo</p>
Anastomosada		<p>—Característica de las llanuras de inundación, de los deltas y, en general, de los cursos bajos de los ríos o en etapa de avanzada vejez o senilidad; revela nivelación topográfica.</p>	<p>Consecuente e Insecuente</p> <p>Desbordante o de Inundación</p>
Reticular		<p>—Típica de áreas pantanosas litorales en llanuras costeras jóvenes.</p>	Desbordante o de Inundación
Retorcida		<p>—Corrientes con dirección invertida, como una respuesta a la presencia de rocas o estructuras duras.</p>	Consecuente
Lagunar		<p>—Característica de cuencas cerradas, con substrato impermeable, y etapa juvenil en el ciclo de erosión.</p>	Insecuente
Errática		<p>—Típica de regiones bajas cubiertas con materiales de acarreo. Cuando se desarrollan tienden a la configuración dendrítica. Pueden ser interiores (cuencas cerradas) o exteriores (llanuras costeras).</p>	Desbordante o de Inundación
Compleja		<p>—Característica de áreas de complicada estructura geológica y de compleja historia geomorfológica.</p> <p>(Comprende áreas de reciente glaciación, aunque en ellas no influya para nada la estructura ni los afloramientos rocosos).</p>	Insecuente

**CUADRO DE CORRELACION FOTOGEOLOGICA DE TIPOS DE CONFIGURACION HIDROGRAFICA
CON TOPOGRAFIA, LITOLOGIA, ESTRUCTURA, TECTONICA Y TIPO GENESICO DE DRENAJE**

TIPO	CONFIGURACION SUBTIPO	TOPOGRAFICA, LITOLOGIA, ESTRUCTURA, TECTONICA	TIPO GENESICO
Anómala		—Revela la existencia de diferentes materiales en el área y de distintos tipos de topografía.	Insecuente
Fantasma		—Caracteriza a las filtraciones en suelos sueltos, sin consolidar, de grano fino, bien drenados, pero de subsuelo impermeable.	Subterráneo
Yazoo		—Revela la presencia de corrientes mayores con diques naturales infranqueables para los tributarios, en las llanuras confluentes de inundación.	Consecuente
Cubeta Glaciárica		—Típica de cuencas cerradas, pero con substrato poroso, que se localiza en las morrenas granulares y en las llanuras glaciáricas de arrastres estratificados.	Superglaciárica y Subglaciárica
Termokárstica		—Revela la presencia de suelos permanentemente congelados, en condiciones normales.	Subterránea
Espoloneada		—Característica de la captura o piratería fluvial.	Consecuente
Elíptica		—Acusa probablemente impactos de meteoritos.	Insecuente

**INDICE DE CITAS DE AUTORES
CON INDICACION DE LA FECHA DEL TEXTO Y DE
LAS PAGINAS CORRESPONDIENTES**

- ABRAMS ALBERT, 1944.—23, 24, 24, 78 y 85.
ALBERTO DE COLONIA.—147.
ALLUM, J. A. E., 1966.—6.
BAILEY, 1899.—268.
BANDAT, HORST F. VON, 1962.—157, 175, 204, 256, 261 y 262.
BARTON, DONALD C., 1933.—182.
BARTON, DONALD C., 1940.—182.
BEATH, 1949.—268 y 268.
BELCHER, DONALD J., 1959.—258.
BEMPORAD.—65.
BENCH, BERNARD M., 1948.—134.
BIROT, PIERRE, 1955.—147.
BLACK.—15.
BLANCHET, P. H.—1957.—134, 137, 138, 139, 140, 140, 141 y 142.
BLIEUX, CHARLES DE., 1949.—182 y 221.
BLIEUX, CHARLES DE., 1951.—75.
BOMBERGER, ELON H., 1960.—72.
BOND, FRED, 1955.—68.
BOUCART, JACQUES, 1957.—155.
BOURNE, 1928.—264, 265.
BROCK, G. C., 1941.—64.
BREWSTER, DAVID, 1844.—28.
BRIGHAM, 1902.—126.
BROCK, G. C., 1952.—56, 60, 64, 66 y 70.
BROOKS, A. H., 1920.—16.
BROOKS, R. R., 1972.—265 y 268.
BROWN, J. S., 1925.—192, 193, 202, 204, 213 y 214.
BROWN, C. W., 1961.—135 y 137.
BRUNDALL, LAURENCE, 1948.—5.

BRUNDALL, LAURENCE, 1950.-5.
BRYAN, KIRK H., 1922.-152.
BRYAN, KIRK H., 1923.-125.
BRYAN, KIRK H., 1941.-99 y 99.
BRYAN, KIRK H.-152.
BUIG, JUAN B., 1953.-270.
BUCK, 1951.-268.
BURENKOV, 1968.-268.
BURGER, A., 1957.-24 y 24.
BUYALOV, N. I., 1961.-268 y 268.
CAMARGO MENDES, JOSUE, 1951.-192.
CAMPBELL, M. R., 1923.-127, 128 y 131.
CAMPBELL, M. R., 1927.-160.
CANNON, H. L., 1957.-266 y 268.
CANNON, H. L., 1960a.-266 y 268.
CANNON, H. L., 1960b.-268, 268, 268 y 268.
CANNON, H. L., 1964.-266.
CIVIALE, AIME, 1882.-15.
CLEAVES, ARTHUR B., 1956.-100.
COLE, M. M., 1968.-268.
COLON, CRISTOBAL, 1914.-47.
COLUCCIO, FELIX, 1947.-93.
COLWELL, ROBERT N., 1952.-37, 72, 75, 78, 83, 84, 108 y 267.
CONDIT.-64.
COOKE, C. W., 1933.-253.
COOKE, C. W., 1934.-253.
COOKE, C. W., 1936.-253.
COOKE, C. W., 1940.-253 y 254.
COTTON, C. A., 1922.-160.
COTTON, C. A., 1950.-195.
COTTON, C. A., 1952.-123, 126, 126 y 162.
COTTON, C. A., 1957.-130.
COX, G. H., 1921.-128.
CHAMBERLIN, THOMAS CROWDER, 1904.-151.
CHAMBERLIN, THOMAS CROWDER, 1906.-160.
CHOMBART DE LAUWE, PAUL, 1956.-71.
CHAPMAN, GRANT, 1945.-254.
CHRISTIE, D. F., 1951.-72.
CHU-CHIN-HAN, 1960.-268.
DAGUERRE.-15.
DAKE, C. L., 1921.-128.
DAKE, C. L., 1925.-192, 193, 202, 204, 213 y 214.

DAVIS, W. M., 1889-1890.—187, 187 y 200.
 DAVIS, W. M., 1890.—187.
 DAVIS, W. M., 1895.—196.
 DAVIS, W. M., 1897.—187.
 DAVIS, W. M., 1899a.—100.
 DAVIS, W. M., 1899b.—127, 129.
 DAVIS, W. M., 1899c.—161.
 DAVIS, W. M., 1900.—98.
 DAVIS, W. M., 1902.—160.
 DAVIS, W. M., 1906.—195.
 DAVIS, W. M., 1909.—152.
 DAVIS, W. M., 1923.—193.
 DAVIS, W. M., 1954 (1909).—152.
 DAVIS, W. M., (sin ref.).—164.
 DERRUAU, M., 1958.—110, 115, 115, 120, 121, 123, 125, 128, 131,
 163 y 168.
 DESJARDINS, LOUIS y HOWER, S. GRACE, 1939.—116.
 DESJARDINS, LOUIS, 1950.—140, 265.
 DILL, HENRY W., 1960.—72.
 DRIFFIELD, 1885-1886.—64.
 DORN, 1937.—268, 268 y 268.
 DUDLEY STAMP, L., 1960.—100, 101 y 102.
 DUDLEY STAMP, L., 1961.—248.
 DUVIGNEAUD, P., 1951.—268 y 268.
 EARDLEY, A. J., 1941.—255.
 EARDLEY, A. J., 1942.—72, 73, 73, 87 y 148.
 EASTMAN KODAK COMPANY, 1923.—63.
 ELVEGARD.—64.
 ENGELN, O. D. VON, 1939.—161, 218 y 218.
 ENGELN, O. D. VON, 1949.—94, 145, 187, 189, 190, 192, 192, 196,
 204 y 257.
 FAY, ALBERT H., 1920.—93, 126, 160 y 188.
 FERRATER Y MORA, JOSE, 1958.—49.
 FINCH, VERNOR C., 1949.—228.
 FISCHER, WILLIAM A., 1960.—259 y 259.
 FISK, H. N., 1944.—182.
 FITCH, A. A., 1951.—72.
 FLAMAND, J. B. M., 1911.—132.
 FLINT, RICHARD F., 1950.—131.
 FREMONT, J. C., 1845.—126.
 FREUD, SIGMUND.—47.
 FROHSCHAMMER, JAKOB, 1877.—48.

GARCIA CASTAÑEDA, FAUSTO, 1965.—27 y 28.
 GARCIA CASTAÑEDA, FAUSTO, 1966.—27 y 28.
 GEOLOGICAL INSTITUTE, AMERICAN, 1957.—125, 126 y 129.
 GILBERT, G. K., 1902.—126.
 GODARD.—15.
 GRABAU, AMADEUS W., 1932.—152, 187, 187, 189, 190, 198 y 201.
 GRUBER, OTTO VON, 1932.—34.
 GUERRA PEÑA, FELIPE, 1950.—9.
 GUERRA PEÑA, FELIPE, 1960.—264.
 GUERRA PEÑA, FELIPE, 1961.—22 y 157.
 GUERRA PEÑA, FELIPE, 1974.—15.
 GUERRA PEÑA, FELIPE, 1975.—32 y 62.
 GUERRA PEÑA, FELIPE, 1976.—82, 144, 144 y 253.
 HACKMAN, ROBERT J., 1956.—298.
 HART, C. A., 1948.—264.
 HARTMAN, RONALD R., 1958.—56, 102, 148, 175, 202 y 264.
 HEINE, 1902.—282.
 HELMHOLTZ.—27.
 HENDERSON, G., 1960.—135 y 141.
 HENWOOD, 1951.—268.
 HERACLITO.—41.
 HILL, R. T., 1896.—129 y 129.
 HOBBS, W. H., 1911.—134.
 HOLMES, ARTHUR, 1951.—126, 188, 191, 194 y 196.
 HOLMES, ARTHUR, 1952.—214.
 HOLMES, ARTHUR, 1953.—154.
 HORIZON, 1951.—266.
 HORTON, ROBERT E., 1945.—220 y 221.
 HURTER, 1885-1886.—64.
 HURWOOD, I. S., 1963.—268.
 HUTTON, JAMES, 1795.—162.
 ISAACS, KALMAN N., 1958.—56, 102, 148, 175, 202 y 264.
 IUDIN (sin ref.).—47.
 JAMES, P. E., 1935.—207.
 JOHNSON, DOUGLAS W., 1919.—162.
 JOHNSON, DOUGLAS W., 1933.—42, 195 y 196.
 JOHNSON, DOUGLAS W., 1936.—253.
 JOHNSON, DOUGLAS W., 1942.—253.
 JOHNSTONE, W. E., 1951.—72.
 JONES.—64.
 JUDD, 1957.—72, 78 y 203.
 JUDSON, S., 1958.—188.

KAISER, E. P., 1950.—135.
KANT, IMMANUEL.—47, 47 y 47.
KARPINSKY, 1941.—263.
KATZ, AMRON H., 1948.—243.
KING.—15.
KNOPF, ADOLPH, 1950.—131.
KNOB.—126.
KRYNINE, DIMITRI P., 1957.—72, 78 y 203.
KUZINA, 1968.—268.
LACHELIER.—53.
LAHEE, FREDERICK H., 1952.—109, 111, 112, 113, 138, 203 y 204.
LAPPARENT, ALBERT DE., 1898.—155.
LATTMAN, LAURENCE H., 1958a.—134, 135, 137 y 139.
LATTMAN, LAURENCE H., 1958b.—139.
LAUSSEDAT, AIME, 1901.—14.
LAWSON, A. C., 1894.—161.
LE JOLIS, 1960.—268 y 268.
LEE, WILLIS T., 1922.—93.
LEE, WILLIS T., 1926.—94.
LEET, L. D., 1958.—188.
LEINZ, VIKTOR, 1951.—192.
LEONARDO DE VINCI.—147.
LEVINGS, WILLIAM S., 1944.—102, 102 y 265.
LIDGEY, 1897.—268 y 268.
LOBECK, ARNIM KOHL, 1939.—132, 160, 204, 214, 232, 246, 251 y 254.
LOBECK, ARNIM KOHL, 1948.—202.
LONGWELL, CHESTER R., 1950.—131.
LUEDER, DONALD R., 1959.—55, 92, 94, 110, 175, 202, 203, 254, 261 y 262.
LYELL, CHARLES, 1830-1832.—162.
MACAR, PAUL, 1946.—113, 114, 123, 123, 131, 131, 132, 145, 156, 156, 168, 172, 188, 188, 194 y 195.
MAC-CRAY, C. W. R., 193.—268.
MALYUGA, D. P., 1947.—268 y 268.
MALYUGA, 1959.—268.
MARGERIE, EMMANUEL DE., 1888.—155.
MARTIN L., 1916.—160.
MARTIN ECHEVERRIA, LEONARDO, 1940.—155.
MARTONE, EMMANUEL DE, 1951.—93, 93, 115, 115, 116, 118, 122, 127, 132, 133, 157, 158, 159, 162 y 164.
MELTON, FRANK A., 1934.—253 y 254.

MELTON, FRANK A., 1944.-221.
 MELTON, FRANK A., 1952.-190.
 MELTON, FRANK A., 1954.-183.
 MELTON, FRANK A., 1956.-180.
 MELTON, FRANK A., (sin ref.).-264.
 MERLE PARVIS, 1949.-202.
 MERLE PARVIS, 1950.-203, 204, 206, 218, 237, 239, 242, 245, 246-
 247, 254 y 255.
 MILLER, CHARLES I., 1958.-281, 282 y 283.
 MILLER, VICTOR C., 1950.-292.
 MILLER, VICTOR C., 1953.-260 y 287.
 MILLER, VICTOR C., 1961.-6, 7, 8, 37, 202, 204 y 289.
 MINGUZZI, C., 1948.-268.
 MONKHOUSE, F. J., 1950.-191.
 MOORE, RAYMOND C., 1947.-102.
 MUILENBURG, 1921.-128.
 MULLER, SIEMON WILLIAM, 1947.-247.
 MUNSELL.-67.
 MUÑOZ LUMBIER, MANUEL, 1945.-93.
 NADAR.-15.
 NEWBIGIN, MARION I., 1936.-105.
 NICKELSEN, 1958.-137.
 NOE, DE LA, 1888.-155 y 162.
 NOVITZKY, ALEJANDRO, 1951.-126.
 NOVO Y FERNANDEZ CHICHARRO, PEDRO DE., 1957.-93, 127,
 129 y 145.
 PASCOE, EDWIN, 1918-1919.-16.
 PASSARGE, SIEGFRIED, 1912.-158.
 PENCK, WALTHER, 1924.-109.
 PENCK, WALTHER, 1927.-99.
 PERSSON, 1948.-268.
 PHOTOGRAPHIC INTERPRETATION, MANUAL OF., 1960.-23, 24
 y 26.
 PISAREV.-4.
 PLAYFAIR, JOHN, 1802.-147 y 162.
 POPOV, 1949.-268.
 POWELL, WILLIAM, 1875.-161.
 POWELL, WILLIAM, 1896.-126.
 PRIESTLEY, JOSEPH.-49.
 PROUTY, W. F., 1952.-251, 252 y 254.
 PUIG, JUAN B., 1953.-270.
 PUIG, JUAN B., 1970.-17.

PUTNAM, WILLIAM C., 1947.-101.
 RABBEN, ELLIS L., 1960.-37, 38, 39, 72 y 75.
 RANSOME, 1919.-158.
 RAY, RICHARD G., 1956.-56, 72, 75 y 83.
 RAY, RICHARD G., 1958.-88.
 RAY, RICHARD G., 1960a.-6, 259 y 259.
 RAY, RICHARD G., 1960b.-259 y 259.
 REA, HENRY CARTER, 1941.-16, 16 y 16.
 REID, J. B., 1941.-64.
 REY, ABEL.-53.
 RIBOT, THEODULE, 1900.-48.
 RICH, JOHN LYON, 1928.-134.
 ROOD, O. N., 1890.-63.
 ROSENTAL.-47.
 RUSSELL, BERTRAND, 1955.-53.
 SAGER, R. C., 1951.-247.
 SALISBURY, ROLLIN D., 1904.-151.
 SALISBURY, ROLLIN D., 1906.-160.
 SANTAYANA, GEORGES, 1942.-45.
 SCHRIEVER, 1933.-253.
 SCHULTZ, JOHN R., 1956.-100.
 SHVYRYAYEVA, A. M., 1961.-268 y 268.
 SINGLETON, ROBERT, 1956.-290.
 SJOSTEDT.-64.
 SMITH, H. T. U., 1943.-42, 72, 72, 78, 83, 87, 87, 88, 91, 94, 138,
 148, 186, 203, 204, 213, 218 y 258.
 SPARKS, B. W., 1960.-99, 109, 110, 187 y 221.
 SPURR, STEPHEN H., 1948.-107 y 265.
 STONE, KIRK H., 1951.-286.
 SUESS, EDUARDO.-146.
 TARR, R. S., 1908.-248.
 TATOR, BENJAMIN A., 1954.-177, 179, 181, 183, 203 y 257.
 TATOR, BENJAMIN A., 1960.-74, 109 y 114.
 THORNBURY, WILLIAM D., 1954.-148, 152, 154, 156, 185, 202,
 204, 212, 218, 235, 242, 242, 245 y 250.
 THURRELL, ROBERT F., 1953.-286, 287, 295, 299 y 300.
 TOLMAN, C. F., 1909.-129.
 TOOMS, J. S., 1968.-268.
 TRELEASE, 1949.-268 y 268.
 TREWARTHA, GLENN T., 1949.-228.
 TRUMP, R. J. 1924.-282.
 USPENSKY, 1915.-268.
 VEATCH, A. C., 1906.-128 y 129.

VERGARA MARTIN, GABRIEL MARIA, 1926.-93.
VERGNANO, 1948.-268.
VERNON, R. O., 1951.-182.
VOGT, T., 1942.-266, 268 y 268.
WALKER, F., 1953.-76.
WHEATSTONE, CHARLES, 1832-1838.-27.
WHITTLE, G., 1951.-72.
WILSON, RICHARD G., 1960.-74.
WING MORALES, ERNESTO, 1967.-6 y 7.
WOOD, 1910.-63.
WOODBURY, 1881.-15.
WORCESTER, PHILIP G., 1949.-125, 130, 131, 206, 209 y 216.
WRIGHT, W. B., 1914.-247.
WRIGHT, 1924.-63.
ZERNITZ, 1932.-219 y 240.

INDICE BIBLIOGRAFICO

- ABRAMS, ALBERT.**—1944.— **ESSENTIALS OF AERIAL SURVEYING AND PHOTO INTERPRETATION.** McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- ALLUM, J. A. E.**—1962.— **PHOTOGEOLOGICAL INTERPRETATION OF AREAS OF REGIONAL METAMORPHISM.** Photogrammetric Engineering, vol. 28, No. 3.
- BAILEY, F. M.**—1899.— **THE QUEENSLAND FLORA.** Diddams, Brisbane.
- BANDAT, HORST F. VON.**—1962.— **AEROGEOLOGY.** Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
- BARTON, DONALD C.**—1933.— **SURFACE FRACTURE SYSTEM OF SOUTH TEXAS.** Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 17, No. 10.
- BARTON, DONALD C.**—1940.— **INTERPRETATION OF AERIAL PHOTOGRAPHS.** Geological Clearing House Bulletin No. 16. (Abstracts from the Literature on Aerial Photographs and Air Navigation). R. W. Pike, New York.
- BEATH, O. A. y TRELEASE, S. F.**—1949.— **SELENIUM: ITS GEOLOGICAL OCCURRENCE AND ITS BIOLOGICAL EFFECTS IN RELATION TO BOTANY, CHEMISTRY, AGRICULTURE, NUTRITION AND MEDICINE.** Trelease and Beath, New York.
- BELCHER, DONALD J.**—1959.— **MICROFORMS AND FEATURES.** Photogrammetric Engineering, vol. 25, No. 5.
- BENCH, BERNARD M.**—1948.— **OIL STRUCTURE DISCOVERY BY AERIAL PHOTOGRAPHS.** The Mines Magazine, December.
- BIROT, PIERRE.**—1955.— **LES METHODES DE LA MORPHOLOGIE.** Presses Universitaires de France, Paris.
- BLANCHET, P. H.**—1957.— **DEVELOPMENT OF FRACTURE ANALYSIS AS AN EXPLORATION METHOD.** Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 41, No. 8.

- BLIEUX, CHARLES DE.**—1949.— **PHOTO GEOLOGY IN GULF COAST EXPLORATION.** Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 33, No. 7.
- BLIEUX, CHARLES DE.**— 1951.— **PHOTO GEOLOGIC STUDY IN KENT COUNTY, TEXAS.** The Oil and Gas Journal, July 12.
- BOMBERGER, ELON H. y DILL, HENRY W.**—1960.— **PHOTO INTERPRETATION IN AGRICULTURE.** Manual of Photographic Interpretation, American Society of Photogrammetry. The George Banta Company, Menasha, Wisconsin.
- BOND, FRED.**—1955.— **KODACHROME AND EKTACHROME (Color Photography for All Angles).** Camera Craft Publishing Company, San Francisco.
- BOURCART, JACQUES.**—1957.— **L'EROSION DES CONTINENTS.** Armand Colin, Paris.
- BOURNE, RAY.**—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 Memories No. 9, Oxford University Press, New York.
- BROCK, G. C.**—1952.— **PHYSICAL ASPECTS OF AIR PHOTOGRAPHY.** Longmans, Green and Company, Edinburgh.
- BROOKS, A. H.**—1920.— **THE USE OF GEOLOGY ON THE WESTERN FRONT.** United States Geological Survey Professional Paper 128, Washington.
- BROOKS, R. R.**—1972.— **GEOBOTANY AND BIOGEOCHEMISTRY IN MINERAL EXPLORATION.** Harper and Row, Publishers, New York.
- BROWN, J. S. y DAKE, C. L.**—1925.— **INTERPRETATION OF TOPOGRAPHIC AND GEOLOGIC MAPS.** McGraw-Hill Book Company, New York.
- BROWN, C. W.**—1961.— **COMPARISON OF JOINTS, FAULTS, AND AIRPHOTO LINEARS.** Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 45, No. 11.
- BRUNDALL, LAURENCE.**—1948.— **PHOTO GEOLOGY APPLIED TO SEARCH FOR NEW PETROLEUM RESERVES.** *Petróleo Interamericano.* Enero.
- BRUNDALL, LAURENCE, y WASEN, A. R.**—1950.— **PHOTO GEOLOGY'S PLACE IN PETROLEUM EXPLORATION.** *World Petroleum,* March.
- BRYAN, KIRK.**— 1922.— **EROSION AND SEDIMENTATION IN THE PAPAGO COUNTY, ARIZONA.** United States Geological Survey Bulletin 730-B, Washington.

- BRYAN, KIRK.**—1941.— **PHYSIOGRAPHY.** Bulletin of the Geological Society of America. vol. 52, No. 6.
- BUCK, L. J.**—1951.— **SHRUB AIDS IN DETERMINING EXTEND OF OREBODY.** New York Bot. Grdn. Jour., Jan-Feb.
- BURENKOV, E. K. y KUZINA, K. I.**—1968.— **RELIABILITY OF PLANTS AS INDICATORS IN MINERAL EXPLORATION.** International Geological Review, vol. 10.
- BUYALOV, N. I. y SHVYRYAYEVA, A. M.**—1961.— **GEOBOTANICAL METHOD IN PROSPECTING FOR SALTS OF BORON.** International Geological Review, vol. 3.
- CAMARGO MENDES, JOSUE, y LEINZ, VIKTOR.**—1951.— **VOCABULARIO GEOLOGICO.** Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidad de Sao Paulo, Departamento de Geología e Paleontología, Sao Paulo.
- CAMPBELL, M. R.**—1923.— **THE TWENTYMILE PARK DISTRICT OF THE YAMPA COAL FIELD, ROUTT COUNTY, COLORADO.** United States Geological Survey Bulletin 748.
- CANNON, H. L.**—1957.— **DESCRIPTION OF INDICATOR PLANTS AND METHODS OF BOTANICAL PROSPECTING FOR URANUM DEPOSITS ON THE COLORADO PLATEAU.** United States Geological Survey Bulletin 1000-D, Washington.
- CANNON, H. L.**—1960 a.— **THE DEVELOPMENT OF BOTANICAL METHODS OF PROSPECTING FOR URANIUM ON THE COLORADO PLATEAU.** United States Geological Bulletin 1085-A, Washington.
- CANNON, H. L.**—1960 b.— **BOTANICAL PROSPECTING FOR ORE DEPOSITS.** Science, vol. 132.
- CANNON, H. L.**—1964.— **GEOCHEMISTRY OF ROCKS AND RELATED SOILS AND VEGETATION IN THE YELLOW CAT AREA, GRAND COUNTY, UTAH.** United States Geological Survey Bulletin 1176.
- CIVIALE, AIME.**—1882.— **LES ALPES AU POINT DE VUE DE LA GEOGRAPHIE PHYSIQUE ET DE LA GEOLOGIE.** J. Rostchild, Paris.
- CLEAVES, ARTHUR B. y SCHULTZ, JOHN B.** 1956.— **GEOLOGY IN ENGINEERING (Chapter 16: Aerial Photographic Interpretation of Soils).** Jhon Wiley and Sons, Inc., New York.
- COLE, M. M., PROVAN, D. M. J. y TOOMS, J. S.**—1968.— **GEOBOTANY, BIOGEOCHEMISTRY AND GEOCHEMISTRY, IN THE BULMAN-WAIMUNA SPRINGS AREA, NORTHERN TERRITORY, AUSTRALIA.** Inst. Mining Metallurgy Trans, Sec. B.
- COLUCCIO, FELIX.**—1947.— **DICCIONARIO GEOLOGICO-MINERO.** El Ateneo, Buenos Aires.

- COLWELL, ROBERT N.**—1952.— **PHOTOGRAPHIC INTERPRETATION FOR CIVIL PURPOSES.** Manual of Photogrammetry, American Society of Photogrammetry, The George Banta Publishing Company, Menasha, Wisconsin.
- COOKE, C. W.**— 1933.— **ORIGIN OF THE SO-CALLED METEORITE SCARS OF SOUTH CAROLINA.** Journal of the Academy of Sciences, vol. 23, Washington, D.C.
- COOKE, C. W.**—1934.— **DISCUSSION OF THE ORIGIN OF THE SUPPOSED METEOR SCARS OF SOUTH CAROLINA.** The Journal of Geology, vol. 42.
- COOKE, C. W.**—1936.— **GEOLOGY OF THE COASTAL PLAIN OF SOUTH CAROLINA.** Bulletin of the United States Geological Survey, No. 867, Washington, D.C.
- COOKE, C. W.**—1940.— **ELLIPTICAL BAYS IN SOUTH CAROLINA AND THE SHAPE OF THE EDDIES.** The Journal of Geology, vol. 48.
- COTTON, C. A.**—1922.— **GEOMORPHOLOGY OF NEW ZEALAND (Part 1-Systematic. An Introduction to the Study of Landforms).** New Zealand Board of Science and Art, Manual No. 3, Dominion Museum, Wellington, New Zealand.
- COTTON, C. A.**—1952.— **GEOMORPHOLOGY.** John Wiley and Sons, Inc., New York.
- COX, G. H., DAKE, C. L. y MUILENGURG, G. A.**—1921.— **FIELD METHODS IN PETROLEUM GEOLOGY (Glossary).** Mc-Graw-Hill Book Company, New York.
- CROSBY, W.O., VEATCH, A. C., SLICHTER, C. S., BOWMAN, ISAIAH, y HORTON, R. E.** 1906.— **UNDERGROUND WATER RESOURCES OF LONG ISLAND, NEW YORK.** United States Geological Survey Professional Paper 44, Washington, D. C.
- CHAMBERLIN, TOMAS CROWDER, y SALISBURY, ROLLIN D.**— 1904.— **GEOLOGY.** (Vol. I, *Geologic Processes and Their Results*), New York.
- CHAPMAN GRANT.**—1945.— **A BIOLOGICAL EXPLANATION OF CAROLINA BAYS.** Science Monthly, vol. 61.
- CHOMBART DE LAUWE, PAUL.**—1956.— **PHOTOGRAPHIES AERIENNES.** (Métodos, procedimientos, interpretación). Ediciones Omega, versión española, Barcelona.
- CHRISTIE, D.F., FITCH, A. A., JOHNSTONE, W. E., y WHITTLE, G.**— 1941.— **GEOLOGY FROM THE AIR.** *Petróleo Interamericano*, Octubre.
- CHU-CHIN-HAN.**—1960.— **THE RESULTS AND FUTURE OF SCIEN-**

- TIFIC RESEARCH IN GEOGRAPHICAL PROSPECTING IN COMMUNIST CHINA. *International Geological Review*, vol. 2.
- DAKE, C. L., COX, G. H., y MUILENBURG, G. A.—1921.— FIELD METHODS IN PETROLEUM GEOLOGY (Glossary). McGraw-Hill Book Company, New York.
- DAKE, C. L. y BROWN, J. S.—1925.— INTERPRETATION OF TOPOGRAPHIC AND GEOLOGIC MAPS. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- DAVIES, J. L.—1961.— AIM AND METHOD IN ZOOGEOGRAPHY. *The Geographical Review*, vol. 51, No. 3.
- DAVIS, WILLIAM MORRIS.—1889.— THE RIVERS AND VALLEYS OF PENNSYLVANIA. *National Geographic Magazine*, vol. 1, Washington, D. C.
- DAVIS, WILLIAM MORRIS.—1890.— THE RIVERS OF NORTHERN NEW JERSEY WITH NOTES ON THE CLASSIFICATION OF RIVERS IN GENERAL. *National Geographic Magazine*, vol. 2, Washington, D. C.
- DAVIS, WILLIAM MORRIS.—1895.— *The Geographical Journal*, vol. 5
- DAVIS, WILLIAM MORRIS.—1897.— THE SEINE, THE MEUSE AND THE MOSELLE. *National Geographic Magazine*, vol. 7, Washington, D. C.
- DAVIS, WILLIAM MORRIS.—1899 a.— *Proceedings of the Geological Association of London*, vol. 16.
- DAVIS, WILLIAM MORRIS.—1899 b.— THE GEOGRAPHICAL CYCLE. *The Geographical Journal*, No. 14.
- DAVIS, WILLIAM MORRIS.—1900.— THE PHYSICAL GEOGRAPHY OF THE LANDS. *Popular Science Monthly*, 57.
- DAVIS, WILLIAM MORRIS.—1902.— BASE-LEVEL, GRANDE AND PENEPLAIN. *The Journal of Geology*, vol. 10.
- DAVIS, WILLIAM MORRIS.—1906.— *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 38.
- DAVIS, WILLIAM MORRIS.—1923.— THE CYCLE OF EROSION AND THE SUMMIT LEVEL OF THE ALPS. *The Journal of Geology*, vol. 31.
- DAVIS, WILLIAM MORRIS.—1954 (1909).— GEOGRAPHICAL ESSAYS. Constable, Dover Publications, New York.
- DERRUAU, M.—1958.— PRECIS DE GEOMORPHOLOGIE. Masson et Cie, Editeurs, Paris.
- DESAJARDINS, LOUIS, y HOWER S. GRACE.—1939.— GEOLOGIC, TOPOGRAPHIC AND STRUCTURAL MAPPING FROM AERIAL PHOTOGRAPHS. American Petroleum Institute, Finding and Producing Oil.

- DESJARDINS, LOUIS.**—1950.—Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 34, No. 12.
- DILL, HENRY W. y BOMBERGER, ELON H.**—1960.—**PHOTO INTERPRETATION IN AGRICULTURE.** Manual of Photographic Interpretation, American Society of Photogrammetry. The George Banta Publishing Company, Menasha, Wisconsin.
- DORN, P.**—1937.—**PLANTS AS A GUIDE TO MINERAL DEPOSITS.** Biologie, vol. 6.
- DUDLEY STAMP L.**—1960.—**BRITAIN'S STRUCTURE AND SCENERY.** The Fontana Library, Edinburgh.
- DUDLEY STAMP L.**—1961.—**A GLOSSARY OF GEOGRAPHICAL TERMS.** Longmans, Green and Company, Ltd., London.
- DUVIGNEAUD, P.**—1959.—**PLANT COBALTOPHYTES IN UPPER KATANGA.** Soc. r. Bot. Belgique Bulletin, vol. 91.
- EARDLEY, A. J.**—1942.—**AERIAL PHOTOGRAPHS: THEIR USE AND INTERPRETATION.** Harper and Brothers Publishers, New York.
- ENGELN, O. D. VON.**—1949.—**GEOMORPHOLOGY.** (Systematic and Regional). The Macmillan Company, New York.
- FAY, ALBERT H.**—1920.—**A GLOSSARY OF THE MINING AND MINERAL INDUSTRY.** Department of the Interior, Government Printing Office, Washington, D. C.
- FINCH, VERNOR C. y TREWARTHA, GLENN T.**—1949.—**ELEMENTS OF GEOGRAPHY.** McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- FISCHER, WILLIAM A.**—1960.—**INTERPRETATION OF GEOLOGY FROM AERIAL PHOTOGRAPHS.** United States Geological Survey, Washington, D. C.
- FISCHER, WILLIAM A. y RAY, RICHARD G.**—1960.—**QUANTITATIVE PHOTOGRAPHY: A GEOLOGIC RESEARCH TOOL.** Photogrammetric Engineering, vol. 26, No. 1. March.
- FISK, H. N.**—1944.—**GEOLOGICAL INVESTIGATION OF THE ALLUVIAL VALLEY OF THE LOWER MISSISSIPPI RIVER.** Mississippi River Commission, Vicksburg, Mississippi.
- FITCH, A. A., CHRISTIE, D. F., JOHNSTONE, W. E. y WHITTLE, G.**—1951.—**GEOLOGY FROM THE AIR.** Petróleo Interamericano, Octubre.
- FLINT, RICHARD F., LONGWELL, CHESTER R., y KNOPF, ADOLPH.**—1950.—**PHYSICAL GEOLOGY.** John Wiley and Sons, Inc., New York.
- FROST, ROBERT E.**—1952.—**DISCUSSION OF PHOTO RECOGNITION, AN ANALYSIS AND INTERPRETATION AND PHOTO KEYS.** Photogrammetric Engineering, vol. 18, No. 3.
- FROST, ROBERT E.**—1960.—**PHOTO INTERPRETATION OF SOILS.**

- Manual of Photo Interpretation, American Society of Photogrammetry. The George Banta Publishing Company, Menasha, Wisconsin.
- GALINDO Y VILLA, JESUS.**—1930.— **GEOGRAFIA DE MEXICO.** Editorial Labor, Barcelona.
- GARCIA CASTAÑEDA, FAUSTO.**—1965.— **NOTAS ACERCA DE LA OBSERVACION DE LAS IMAGENES REGISTRADAS EN LAS FOTOGRAFIAS AEREAS.** Revista Minería y Metalurgia, Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, No. 32.
- GARCIA CASTAÑEDA, FAUSTO.**—1966.— **BREVE BOSQUEJO DE LOS PROGRESOS DE LA FOTOINTERPRETACION: MATERIALES, CAMPOS DE APLICACION Y METODOS.** Revista Minería y Metalurgia, Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, No. 36.
- GEOLOGICAL INSTITUTE, AMERICAN.**—1957.— **GLOSSARY OF GEOLOGY AND RELATED SCIENCES.** Washington, D. C.
- GRABAU, AMADEUS W.**— 1932.— **PRINCIPLES OF STRATIGRAPHY,** (Chapter 3: Rivers). A. G. Seiler, New York.
- GUERRA PEÑA, FELIPE.**—1950.— **INTRODUCCION A LA FOTOGEOLOGIA.** Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, vol. 2, No. 1.
- GUERRA PEÑA, FELIPE.**—1960.— **LA FOTOGEOLOGIA APLICADA A LA EXPLORACION MINERA.** Revista Minería y Metalurgia, Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, No. 12, México. D.F.
- GUERRA PEÑA, FELIPE.**—1961.— **LOS FACTORES INTEGRANTES DE LA FOTOGEOLOGIA.** Primera Convención Nacional de Ingenieros y Técnicos de Exploración y Explotación del Petróleo, México, D.F., Noviembre.
- GUERRA PEÑA, FELIPE.**—1974.— **EL NACIMIENTO DEL MAS ANTIGUO SISTEMA DE TELEDETECCION TERRESTRE: LA FOTOGRAFIA AEREA.** Anales de la Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, vol. IV.
- GUERRA PEÑA, FELIPE.**—1975.— **LOS RASGOS TECTONICOS EN LAS IMAGENES DEL "ERTS-1".** Memoria de la I Reunión sobre el Aprovechamiento de los Datos derivados de los Satélites Tecnológicos para el Estudio de los Recursos Naturales. Comisión Nacional de Espacio Exterior, México, D.F., Octubre.
- GUERRA PEÑA, FELIPE.**—1976.— **INTERPRETACION PRELIMINAR DE LA TECTONICA MEXICANA EN LAS IMAGENES DEL SATELITE ARTIFICIAL "LANDSAT- 1".** Contribución de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional, de México, al XXIII Congreso Geográfico Internacional, celebrado en Moscú. Con un mapa a escala de 1:2,000,000. (Texto en español, ruso e inglés).

- HACKMAN, ROBERT J.**—1945.— THE STEREO-SLOPE COMPARATOR. Photogrammetric Engineering, vol. 22, No. 5.
- HART, C. A.**—1948.— AIR PHOTOGRAPHY APPLIED TO SURVEYING. Longmans, Green and Company, London.
- HARTMAN, RONALD R. e ISAACS, KALMAN N.**—1958.— SYSTEM IN PHOTOGEOLOGY. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 42, No. 5.
- HENDERSON, G.**—1960.— AIRPHOTO LINEAMENTS IN MPANDA AREA, WESTERN PROVINCE, TANGANYIKA, AFRICA. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 44, No. 1.
- HENWOOD, W. J.**—1857.— NOTICE OF THE COPPER TURF OF MERIONETH. New Phil. Jour., Edinburgh.
- HOBBS, W. H.**—1911.— REPEATING PATTERNS IN THE RELIEF AND IN THE STRUCTURE OF THE LAND. Bulletin of the Geological Society of America, vol. 22.
- HOLMES, ARTHUR.**—1953.— PRINCIPLES OF PHYSICAL GEOLOGY. Thomas Nelson, Edinburgh.
- HORIZON.**—1959.— A FLOWER THAT LED TO A COPPER DISCOVERY, NDOLA, ZAMBIA. RST Group.
- HORTON, R. E., VEATCH, A. C., SLICHTER, C. S., BOWMAN, ISAIAH, y CROSBY, W. O.**—1906.— UNDERGROUND WATER RESOURCES OF LONG ISLAND NEW YORK. United States Geological Survey Professional Paper 44.
- HORTON, ROBERT E.**—1945.— EROSIONAL DEVELOPMENT OF STREAMS AND THEIR DRAINAGE BASINS. (Hydrophysical) Approach to Quantitative Morphology). Bulletin of the Geological Society of America, vol. 56, No. 3.
- HOWARD, W. V.**—1940.— AERIAL PHOTOGRAPHS FURNISH VALUABLE AID TO GEOLOGISTS. The Oil and Gas Journal, April 18.
- HURWOOD, I. S.**—1963.— SELENIUM IN NORTHWESTERN QUEENSLAND ASSOCIATED WITH A MAIN CRETACEOUS FORMATION. Queensland Jour. Agric. Sci., vol. 20.
- HUTTON, JAMES.**—1795.— THEORY OF THE EARTH. William Creech, Edinburgh.
- ISAACS, KALMAN N. y HARTMAN, RONALD R.**—1958.— SYSTEM IN PHOTOGEOLOGY. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 42, No. 5.
- ISAACS, KALMAN N.**—1958.— CUT EXPLORATION COSTS WITH PHOTOGEOLOGY. Mining Engineering, April.
- JAMES, P. E.**—1935.— AN OUTLINE OF GEOGRAPHY. Ginn and Company, Chicago.

- JOHNSON, DOUGLAS W.**—1919.— SHORE PROCESS AND SHORELINE DEVELOPMENT, New York.
- JOHNSON, DOUGLAS W.**—1932.— STREAMS AND THEIR SIGNIFICANCE. *Journal of Geology*, vol. 40, No. 6.
- JOHNSON, DOUGLAS W.**—1936.— ORIGIN OF THE CAROLINA BAYS. *Proceedings of the Geological Society of America*.
- JOHNSON, DOUGLAS W.** 1942.—ORIGIN OF THE CAROLINA BAYS. Columbia University Press.
- JOHNSTONE, W. E.**—**FITCH, A. A.**, **CHRISTIE, D.F.**, y **WHITTLE, G.**—1951.— *Petróleo Interamericano*, Octubre.
- JUDD, WILLIAM R.**—1957.—PRINCIPLES OF ENGINEERING GEOLOGY AND GEOTECHNICS (Chapter 7, Maps and Airphotos: Airphoto Interpretation). Mc.Graw-Hill Book Company, Inc., New York.
- JUDSON S.** y **LEET, L. D.**—1958.— PHYSICAL GEOLGY. Prentice-Hall, Inc., New York.
- KAISER, E. P.**—1950.— STRUCTURAL SIGNIFICANCE OF LINEAMENTS. *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 61, No. 12.
- KATZ, AMRON H.**—1948.— AIR FORCE PHOTOGRAPHY. *Photogrammetric Engineering*, vol. 14, No. 4.
- KISTLER, PHILLIP S.**—1947.— VIEWING PHOTOGRAPHS IN THREE DIMENSIONS. *Photogrammetric Engineering*, vol. 13, No. 1.
- KJELLEN, RUDOLPH.**—1924.—*DER STAAT ALS LEBENSFORM*. 4. Aufl., Berlin.
- KNOFF, ADOLPH;** **LONGWELL, CHESTER R.** y **FLINT, RICHARD F.**—1950. *PHYSICAL GEOLOGY*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- KOEPPE, WILHELM.**—1948.— *GUNDRISS DER KLIMAKUNDE*. Walter von Gryter, Berlin und Leipzig. (Versión española del Fondo de Cultura Económica, México, D.F.).
- KRYNINE, DIMITRI P.** y **JUDD, WILLIAM R.**—1957.— PRINCIPLES OF ENGINEERING GEOLOGY AND GEOTECHNICS. (Chapter 7, Maps and Airphotos: Airphotointerpretation). McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- KUZINA, K. I.**—1968.— RELIABILITY OF PLANTS AS INDICATORS IN MINERAL EXPLORATION. *International Geological Review*, vol. 10.
- LAHEE, FREDERICK H.**—1952.— FIELD GEOLOGY (Chapter 17, Airplane MAPPING: APLICATION TO GEOLOGY). McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- LAPPARENT, ALBERT DE.**—1898.— *LECONS DE GEOGRAPHIE PHYSIQUE*. Masson et Cie, Editeurs, Paris.

- LATTMAN, LAURENCE H.**—1958.— **TECHNIQUE OF MAPPING GEOLOGIC FRACTURE-TRACES AND LINEAMENTS ON AERIAL PHOTOGRAPHS.** Photogrammetric Engineering, vol. 24, No. 4.
- LATTMAN, LAURENCE H. y NICKELSEN, R.P.**—1958.—**PHOTO-GEOLOGIC FRACTURE-TRACES IN APPALACHIAN PLATEAU.** Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 42, No. 9.
- LAUSSEDAT, AIME.**—1901.— **RECHERCHES SUR LES INSTRUMENTS ET LE DESSIN TOPOGRAPHIQUES (Tomo II: Iconométrie et Métrophotographie).** Gauthier-Villars, Imprimeur-Libraire, Paris.
- LAWSON, A. C.**—1899.— **THE GEOMORPHOGENY OF THE COAST OF NORTHERN CALIFORNIA.** Department of Geology Bulletin, University of California, vol. 1.
- LEE, WILLIS T.**—1922.— **THE FACE OF THE EARTH AS SEEN FROM THE AIR.** American Geographical Society Special Publication No. 4, New York.
- LEE, WILLIS T.**—1926.— **STORIES IN STONE.** D. van Nostrand Company, New York.
- LEET, L. D. y JUDSON, S.**—1958.— **PHYSICAL GEOLOGY.** Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J.
- LEINZ, VIKTOR, y CAMARGO MENDES, JOSUE.**—1951.— **VOCABULARIO GEOLOGICO.** Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Universidade de Sao Paulo, Departamento de Geologia e Paleontologia, Sao Paulo.
- LE JOLIS, A.**—1860.— **THE CHEMICAL INFLUENCE OF THE SOIL ON THE DISTRIBUTION OF PLANTS.** French Congr. Sci., 21 Session, Cherbourg.
- LEVINGS, WILLIAM S.**—1944.— **AEROGEOLOGY IN MINERAL EXPLORATION.** Quarterly of the Colorado School of Mines, vol. 39, No. 4.
- LIDGEY, E.**—1897.— **SOME INDICATIONS OF ORE DEPOSITS.** Trans. Australas. Ins. Mining Engrs.
- LOBECK, ARNIM KOHL.**—1939.—**GEOMORPHOLOGY.** (An Introduction to the Study of Landscapes). McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- LONGWELL, CHESTER R., KNOPF, ADOLPH, y FLINT, RICHARD F.**—1950. **PHYSICAL GEOLOGY.** John Wiley and Sons, Inc., New York.
- LUEDER, DONALD R.**—1959.— **AERIAL PHOTOGRAPHIC INTERPRETATION.** (Principles and Applications). McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.

- LYELL, CHARLES.**—1830-1832.— PRINCIPLES OF GEOLOGY. John Murray, London.
- MACAR, PAUL.**—1946.— PRINCIPES DE GEOMORPHOLOGIE NORMALE. (Estude des Formes du Terrain des Régions a Climat Humide). H. Vaillant Carmanne, S.A., Liège.
- MALYUGA, D. P.**—1939.— THE GEOCHEMISTRY OF DISPERSED NICKEL. I-DISTRIBUTION OF NICKEL IN ORGANISMS IN THE BIOSPHERE. Trudy Biogeokhim Lb. Akad. Nauk, No. 5.
- MALYUGA, D. P.**—1947.— CHEMICAL COMPOSITION OF SOILS AND PLANTS AS INDICATORS IN PROSPECTING FOR METALS. Izv. Akad. Nauk S.S.S.R., Ser Geograf. Geofiz., vol. 11.
- MALYUGA, D. P.**—1959.— APPLICATION OF THE BIOGEOCHEMICAL METHOD IN PROSPECTING FOR COPPER-MOLYBDENUM ORES. Razv. Okhr. Nedr., vol 25.
- MARGERIE, EMMANUEL DE, y NOE, DE LA.**—1888.— LES FORMES DU TERRAIN. Imprimerie Nationale, Paris.
- MARTIN, L.**—1916.— Bull. Wis. Geol and Nat. Hid. Survey, No. 38.
- MARTIN ECHEVERRIA, LEONARDO.**—1940.— ESPAÑA-EL PAIS Y LOS HABITANTES. Editorial Atlante, México, D.F.
- MARTONNE, EMMANUEL DE.**—1951 (1925).—TRAITE DE GEOGRAPHIE PHYSIQUE. Armand Colin, Paris.
- MELTON, FRANK A. y SCHRIEVER, WILLIAM.**—1933.— THE CAROLINA BAYS ARE THEY METEORITE SCARS?. The Journal of Geology, vol. 41.
- MELTON, FRANK A.**—1934.— REPLY TO ARTICLE BY C. W. COOKE ON THE ORIGIN OF THE SUPPOSED METEOR SCARS. The Journal of Geology, vol. 42.
- MELTON, FRANK A.**—1956.— PROBLEMS OF THE PHOTOGEOLOGIST IN "FLATLAND" REGIONS OF LOW DIP. Photogrammetric Engineering, vol. 22, No. 5.
- MERLE PARVIS.**—1950.— DRAINAGE PATTERN SIGNIFICANCE IN AIRPHOTO IDENTIFICATION OF SOILS AND BEDROCKS. Photogrammetric Engineering. vol.16, No. 3.
- MILLER, CHARLES I.**—1958.— THE STEREOSCOPIC SPACE-IMAGE. Photogrammetric Engineering. vol. 24, No. 5.
- MILLER, VICTOR C.**—1950.— RAPID DIP ESTIMATION IN PHOTOGEOLOGICAL RECONNAISSANCE. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 34, No. 8.
- MILLER, VICTOR C.**—1953.— SOME FACTORS CAUSING VERTICAL EXAGGERATION AND SLOPE DISTORTION ON AERIAL PHOTOGRAPHS. Photogrammetric Engineering, vol. 19, No. 4.
- MILLER, VICTOR C.**—1961.— PHOTOGEOLOGY (Chapter 2, Stereos-

- copy: Vertical Exaggeration and Model Distortion). McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- MINGUZZI, C. y VERGNANO, O.**—1948.— NICKEL CONTENT OF "ALYSSUM BERTOLONII". Soc. Tosc. Sci. nat. Atti., vol. 55.
- MONKHOUSE, F. J.**—1959.— THE PRINCIPLES OF PHYSICAL GEOGRAPHY. University of London Press, Ltd., London.
- MOORE, RAYMOND C.**—1947.— AERIAL PHOTOGRAPHS AS AIDS IN STRATIGRAPHIC STUDIES. Photogrammetric Engineering, vol. 13, No. 4.
- MOTT, G. P.**—1949.— AERIAL MAPPING FOR OIL. World Petroleum, March.
- MULENBURG, G. A., COX, G. H. y DAKE, C. L.**—1921.— FIELD METHODS IN PETROLEUM GEOLOGY. (GLOSSARY). McGraw-Hill Book Company, New York.
- MULLER, SIMON WILLIAM.**—1947.— PERMAFROST OR PERMANENTLY FROZEN GROUND AND RELATED ENGINEERING PROBLEMS (GLOSSARY). J. W. Edwards, Ann Arbor, Michigan.
- MUÑOZ LUMBIER, MANUEL.**—1945.— VOCABULARIO FISIOGRAFICO, GEOLOGICO Y DE VOCES RELACIONADAS CON LA GEOGRAFIA. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Publicación No. 75. México D.F.
- NEWBIGIN, MARION I.**—1936.— PLANT AND ANIMAL GEOGRAPHY, Methuen and Company, Ltd., London.
- NOE, DE LA, y MARGERIE, EMMANUEL DE.**—1888.— LES FORMES DU TERRAIN. Imprimerie Nationale, Paris.
- NOVITZKY, ALEJANDRO.**—1951.— DICCIONARIO MINERO-METALURGICO-GEOLOGICO-MINERALOGICO-PETROGRAFICO Y DE PETROLEO (Inglés, español, francés, alemán y ruso). Imprenta Chile, Buenos Aires.
- NOVO Y FERNANDEZ CHICHARRO, PEDRO DE.**—1951.— DICCIONARIO DE GEOLOGIA Y CIENCIAS AFINES. Editorial Labor, S.A., Madrid.
- PASSARGE, SIEGFRIED.**—1912.— PHYSIOLOGISCHE MORPHOLOGIE. M.G. Ges, Hamburg.
- PARVIS, MERLE.**—1950.— DRAINAGE PATTERN SIGNIFICANCE IN AIRPHOTO IDENTIFICATION OF SOILS AND BEDROCKS. Photogrammetric Engineering, vol. 16, No. 3.
- PENCK, WALTHER.**—1924.— DIE MORPHOLOGISCHE ANALYSE. J. Engelhorn's Nachfolger, Stuttgart.
- PERSSON H.**—1948.— ON THE DISCOVERY OF "MERCEYA LIGULATA" IN THE AZORES, WITH A DISCUSSION OF THE SO-CALLED "COPPER MOSSES". Revue bryol, lichen., vol. 17.

- PHOTOGRAMMETRY, MANUAL OF.**—1952.— American Society of Photogrammetry, The George Banta Publishing Company, Menasha, Wisconsin.
- PHOTOGRAPHIC INTERPRETATION, MANUAL OF.**—1960.— American Society of Photogrammetry, The George Banta Publishing Company Menasha, Wisconsin.
- PLAYFAIR, JOHN.**—1802.— ILLUSTRATIONS OF THE HUTTONIAN THEORY OF THE EARTH. William Creech, Edinburgh.
- POPOV, M. G.**—1949.— ENDEMIC SPECIES OF THE MAGUNTAN MUD VOLCANO. Bot. Zhur. SSSR, vol. 34.
- POWELL, WILLIAM.**—1875.— EXPLORATION OF THE COLORADO RIVER OF THE WEST. Smithsonian Institution, Washington, D.C.
- PROUTY, W. F.**—1952.— CAROLINA BAYS AND THEIR ORIGIN.— Bulletin of the Geological Society of America, vol. 63, No. 2.
- PROVAN, D. M. J., COLE, M. M., y TOOMS, J. S.**—1968.— GEOBOTANY, BIOGEOCHEMISTRY AND GEOGHEMISTRY IN THE BULMAN WALMUNA SPRINGS AREA, NORTHERN TERRITORY, AUSTRALIA. Inst. Mining Metallurgy Trans. Sec. B.
- PUIG, JUAN B.**—1953.— LA FOTOGEOLOGIA APLICADA A LA EXPLORACION PETROLERA. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, vol. V, No. 11-12., México, D.F.
- PUIG, JUAN B.**—1970.— GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA CIVIL Y FOTOINTERPRETACION. Lito Juventud, México, D.F.
- PUTNAM, WILLIAM C.**—1947.— AERIAL PHOTOGRAPHS IN GEOLOGY. Photogrammetric Engineering, vol. 13, No. 4.
- RABBEN, ELLIS L. ET AL.**—1960.— FUNDAMENTALS OF PHOTO INTERPRETATION. Manual of Photographic Interpretation, American Society of Photogrammetry, The George Banta Publishing Company, Menasha, Wisconsin.
- RANSOME, F. L.**—1919.— THE COPPER DEPOSITS OF RAY AND MIAMI, ARIZONA. United States Geological Survey Professional Paper 115, Washington, D.C.
- RATZEL, FRIEDRICH.**—1882.— ANTHROPO-GEOGRAPHIE. Engelhorn's, Stuttgart.
- RAY, RICHARD G.**—1956.— PHOTOGEOLOGIC PROCEDURES IN GEOLOGIC INTERPRETATION AND MAPPING. United States Geological Survey Bulletin 1043-A, Washington, D.C.
- RAY, RICHARD G.**—1960 a.— AERIAL PHOTOGRAPHS IN GEOLOGIC INTERPRETATION AND MAPPING. United States Geological Survey Professional Paper 373, Washington, D.C.
- RAY, RICHARD G. y FISCHER, WILLIAM A.**—1960 b.— QUANTITATIVE PHOTOGRAPHY - A GEOLOGIC RESEARCH TOOL. Photogrammetric Engineering, vol. 26, No. 1.

- REA, HENRY CARTER.**—1941.— **PHOTO GEOLOGY.** Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 25, No. 9.
- RICH, JOHN LYON.**—1928.— **JOINTING IN LIMESTONE AS SEEN FROM THE AIR.** Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, vol. 12, No. 8.
- SAGER, R. C.**—1951.— **AERIAL ANALYSIS OF PERMANENTLY FROZEN GROUND.** Photogrammetric Engineering, vol. 17, No. 4.
- SALISBURY, ROLLIN D. y CHAMBERLIN, THOMAS CROWDER.**—1904.— **GEOLOGY,** vol. I - Geologic Processes and Their Results, New York.
- SCHRIEVER, WILLIAM y MELTON, FRANK A.**—1933.— **THE CAROLINA BAYS ARE THEY METEORITE SCARS?.** The Journal of Geology, vol. 41.
- SCHULTZ, JOHN R. y CLEAVES, ARTHUR B.**—1956.— **GEOLOGY IN ENGINEERING.** (Chapter 16: Aerial Photographic Interpretation of Soils). John Wiley and Sons, Inc., New York.
- SEMPLE, ELLEN CHURCHILL.**—1947.— **INFLUENCE OF GEOGRAPHIC ENVIRONMENT ON THE BASIS OF RATZEL'S SYSTEM OF ANTHROPO-GEOGRAPHY.** Henry Holt and Company, New York.
- SHVYRYAYEVA, A. M. y BUYALOV, N. I.**—1961.— **GEOBOTANICAL METHOD IN PROSPECTING FOR SALTS OF BORON.** International Geological Review, vol. 3.
- SINGLETON, ROBERT.**—1956.— **VERTICAL EXAGGERATION AND PERCEPTUAL MODELS.** Photogrammetric Engineering, vol. 22, No. 1.
- SLICHTER, C. S.; VEATCH, A. C.; BOWMAN, ISAIAH; CROSBY, W. O. y HORTON, R. E.**—1905.— **UNDERGROUND WATER RESOURCES OF LONG ISLAND, NEW YORK.** United States Geological Survey Professional Paper 44.
- SMITH, H. T. U.**—1943.— **AERIAL PHOTOGRAPHS AND THEIR APPLICATIONS.** Appleton Century Crofts, Inc., New York.
- SMITH, NORMAN C.**—1952.— **FINDING FADED STRUCTURES.** (Photogeologic Prospecting Combined with others Methods in Studying Blanketed Formations). World Oil, July 1.
- SOLARI, ALEJANDRO.**—1956.— **FOTOINTERPRETACION.** (El uso integral de las fotografías aéreas en el planeamiento regional). Centro Panamericano de Recursos Naturales, Sao Paulo, Brasil.
- SPARKS, B. W.**—1960.— **GEOMORPHOLOGY.** Longmans, Green and Company, London.
- SPURR, STEPHEN H.**—1948.— **AERIAL PHOTOGRAPHS IN FORESTRY.** The Ronald Press Company, New York.

- STAMP, L. DUDLEY.**—1960.— BRITAIN'S STRUCTURE AND SCENERY. The Fontana Library, Edinburgh.
- STAMP, L. DUDLEY.**—1961.— A GLOSSARY OF GEOGRAPHICAL TERMS. Longmans, Green and Company, Ltd., London.
- STONE, KIRK H.**—1951.— GEOGRAPHICAL AIR-PHOTO INTERPRETATION. Photogrammetric Engineering, vol. 17, No. 5.
- TARR, R. S.**—1908.— Bulletin of the American Geographical Society, vol. 40.
- TATOR, BENJAMIN A.**—1954.— DRAINAGE ANOMALIES IN COASTAL PLAIN REGIONS. Photogrammetric Engineering, vol. 20, No. 3.
- TATOR, BENJAMIN A.**—1960.— PHOTO INTERPRETATION IN GEOLOGY. Manual of Photographic Interpretation, American Society of Photogrammetry, The George Banta Publishing Company, Menasha, Wisconsin.
- THORNBURY, WILLIAM D.**—1954.— PRINCIPLES OF GEOMORPHOLOGY. (21. Tools of the Geomorphologists: Clues to Airphoto Interpretation). John Wiley and Sons, New York.
- THURRELL, ROBERT F.**—1953.— VERTICAL EXAGGERATION IN STEREOSCOPIC MODELS. Photogrammetric Engineering, vol 19, No. 4.
- TIRATSOO, E. N.**—1951.— PETROLEUM GEOLOGY. (Chapter 12. Surface Oil Finding: Air Survey). Methuen and Company, Ltd., London.
- TOLMAN, C. F.**—1909.— The Journal of Geology, vol. 17.
- TOOMS, J. S.**—1968.— GEOBOTANY, BIOGEOCHEMISTRY AND GEOCHEMISTRY IN THE BULMAN-WAIMUNA SPRINGS AREA, NORTHERN TERRITORY, AUSTRALIA. Ins. Mining Metallurgy Trans. Sec. B.
- TRELEASE S. F. y BEATH, O. A.**— 1949.— SELENIUM: ITS GEOLOGICAL OCURRENCE AND ITS BIOLOGICAL EFFECTS IN RELATION TO BOTANY, CHEMISTRY, AGRICULTURE, NUTRITION AND MEDICINE. Trelease and Veath, New York.
- TREWARTHA, GLENN T. y FINCH, VERNOR C.**—1949.— ELEMENTS OF GEOGRAPHY. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- USPENSKY.**—1915.—MANGANESE IN PLANTS. Zhur. opyt. Agron., vol. 15.
- VEATCH, A. C.; SLICHTER, C. S.; BOWMAN, ISAAH; CROSBY, W. O. y HORTON, R. E.**—1906.— UNDERGROUND WATER RESOURCES OF LONG ISLAND, NEW YORK.
- VERGARA MARTIN, GABRIEL MARIA.**—1926.— DICCIONARIO

- DE VOCES Y TERMINOS GEOGRAFICOS. Librería Casa Editorial Hernando, Madrid.
- VERGNANO, O. y MINGUZZI, C.**—1948.— NICKEL CONTENT OF "ALYSSUM BERTOLONII". Soc. Tosc. Sci. nat. Atti., vol. 55.
- VERNON, R. O.**—1951.— GEOLOGY OF CITRUS AND LEVY COUNTRIES, FLORIDA. Florida Geological Survey Bulletin No. 33.
- VIDAL DE LA BLACHE, P.**—1922.— PRINCIPES DE GEOGRAPHIE HUMAINE. Armand Colin, Paris.
- VOGT, T.**—1942.— GEOCHEMICAL AND GEOBOTANICAL PROSPECTING. (II. "Viscaria alpina" G. Don Som "Kisplant". K. norske Vidensk. Selsk Forh, vol. 15.
- WALKER, F.**—1953.— GEOGRAPHY FROM THE AIR. Methuen and Company Ltd., London.
- WASSEN A. R.**—1950.— PHOTOGEOLOGY APPLIED TO PETROLEUM EXPLORATION, World Oil, April.
- WASSEN, A. R. y BRUNDALL, LAURENCE.**—1950.— PHOTOGEOLOGY'S PLACE IN PETROLEUM EXPLORATION. World Petroleum, March.
- WEATHERHEAD, T. D.**—AIR SURVEY AND GEOLOGY. International Geological Congress, 18 Session, Great Britain. Part VI, Section E: The Geology of Petroleum, London.
- WHEELER, ROBERT R. y SMITH, NORMAN C.**—1952.— FINDING FADED STRUCTURES. (Photogeologic Prospecting Combined with other Methods in Studying Blanketed Formations), World Oil, July 1.
- WHITTLE, G; FITCH, A. A.; CHRSTIE, D. F.; y JOHNSTONE, W. E.**—1951.— GEOLOGY FROM THE AIR. Petróleo Interamericano, Octubre.
- WILSON, RICHARD C. et al.**—1960.— PHOTO INTERPRETATION IN FORESTRY. Manual of Photographic Interpretation, American Society of Photogrammetry, The George Banta Publishing Company, Menasha, Wisconsin.
- WING MORALES, ERNESTO.**—1967.— LAS FOTOGRAFIAS AEREAS EN GEOLOGIA. Impresora de Pavía, México, D.F.
- WOODWARD, LOUIS A.**—1950.— AERIAL PHOTOGRAMMETRY AS APPLIED TO THE PETROLEUM INDUSTRY. Journal of Petroleum Technology, vol. 2, No. 1.
- WORCESTER, PHILIP G.**—1949.— A TEXTBOOK OF GEOMORPHOLOGY. D. Van Nostrand Company, Inc., New York.
- WRIGHT, W. B.**—1914.— THE QUATERNARY ICE AGE. Macmillan, London.
- WRIGHT, MARSHALL S.**—1960.— PHOTOGEOLOGY GIVING RAPID COVERAGE IN FOUR CORNERS. World Oil, February 1.

ZERNITZ, E. R.—1932.— DRAINAGE PATTERNS AND THEIR SIGNIFICANCE. *The Journal of Geology*, vol. 40, No. 6.

	Página
<i>Segunda Regla: De la Textura</i>	76
Microtextura	77
<i>Tercera Regla: De la Microtextura</i>	77
Observaciones Generales sobre las Reglas del Segundo Grupo ..	77
Forma	78
<i>Cuarta Regla: De la Forma</i>	82
Tamaño	83
<i>Quinta Regla: Del Tamaño</i>	84
Sombra	84
<i>Sexta Regla: De la Sombra</i>	88
Patrón, Tipo o Modelo de Configuración	88
<i>Séptima Regla: Del Patrón, Tipo o Modelo de Configuración</i>	90
Relaciones con Objetos o Rasgos Asociados	90
<i>Octava Regla: De las Reglas con Objetos o Rasgos Asociados</i>	91
Microrrasgos No Topográficos	92
<i>Novena Regla: De los Microrrasgos No Topográficos</i>	92
Observaciones Generales sobre las Reglas del Tercer	
Grupo	93
Formas Topográficas o Relieve Terrestre	93
<i>Décima Regla: De las Formas Topográficas o Relieve Terrestre</i>	106
Lugar, Sitio o Emplazamiento	107
<i>Undécima Regla: Del Lugar, Sitio o Emplazamiento</i>	108
Posición o Gradiente	109
<i>Duodécima Regla: De la Posición o Gradiente</i>	115
Ruptura de Pendiente	115
<i>Décimatercera Regla: De la Ruptura de Pendiente</i>	133
Alineaciones o Rasgos Alineados	134
<i>Décimacuarta Regla: De las Alineaciones o Rasgos Alineados</i>	144
Observaciones Generales sobre las Reglas del Cuarto Grupo ...	145
Erosión	146
<i>Décimaquinta Regla: De la Erosión</i>	174
Drenaje	174
<i>Décimasexta Regla: Del Drenaje</i>	263
Observaciones Generales sobre la Regla-Correlación del Quinto	
Grupo	263
Correlación Vegetación-Suelo-Roca	264

	Página
<i>Décimaséptima Regla: Correlación Vegetación-Suelo-Roca</i>	267
APENDICE A.—La Exageración Vertical o del Relieve, en las Fotografías Aéreas	281
APENDICE B.—Cuadro de Correlación Fotogeológica de Tipos de Configuración Hidrográfica, con Topografía, Litología, Estructura, Tectónica y Tipo Genésico de Drenaje	304
INDICE de Citas de Autores, con Indicación de la fecha del Texto y de las Páginas Correspondientes	309
INDICE BIBLIOGRAFICO	317
INDICE GENERAL	335

Siendo director general de Publicaciones José Dávalos, se terminó la impresión de *Fotogeología*, en los Talleres de Profesional Tipográfica, S. de R.L., el día 14 de diciembre de 1980. Su composición se hizo en tipos Baskerville de 11 y 8 Pts. La edición consta de 5,000 ejemplares.