

GEOMORFOLOGIA ANALITICA DE LOS PERFILES FLUVIALES LONGITUDINALES

LUIS GUILLERMO DURAN S.

Profesor de Geología. Laboratorio de Geología Experimental, Facultad de Geología, Universidad Nacional.

I — INTRODUCCION

"Aún siendo errónea, una hipótesis puede servir eficazmente al progreso con tal que esté basada en nuevas observaciones y marque una dirección original al pensamiento científico. Y en todo caso la explicación rechazada por falsa, siempre tendrá una ventaja: la de restringir, por exclusión, el campo de lo imaginable, eliminando soluciones inaceptables y causas de error..."

Santiago Ramón y Cajal (1897).

La Geomorfología, antiguamente llamada Fisiografía, o sea la rama de la Geología que se ocupa del estudio del relieve terrestre, o de las formas de la tierra, más exactamente, ha entrado francamente en una fase analítica durante los últimos 15 ó 20 años. Cuando en 1942 intentábamos una interpretación matemática del perfil longitudinal de las corrientes de agua en equilibrio, la idea podía parecer a la mayoría de nuestros colegas un tanto fuera de lugar, pues la Geomorfología de entonces, que acababa de ser sistematizada en excelente forma por el profesor Lobeck en Norte América, y unos cuanto años antes por de Martonne en Europa, tenía un carácter esencialmente descriptivo.

Analizados por nosotros unos cuantos perfiles longitudinales de ríos y quebradas en varias regiones colombianas, hallamos que algunas de ellas, especialmente en el Norte de Santander y en el Tolima, podían asimilarse a una parábola. Con base en este hecho, y las consideraciones que se detallarán en su lugar, formulamos la hipótesis de que dichos perfiles tienden a alcanzar la forma parabólica en su fase de equilibrio, y puntualizamos las consecuencias prácticas (ingeniería) y teóricas (geomorfología) que la hipótesis implicaría (11).

No creemos hoy día, después de verificar más análisis de perfiles en nuestro Laboratorio de Geología Experimental de la Facultad de Geología de la Universidad Nacional, que la hipótesis pueda generalizarse por completo, pero nos resistimos a admitir que los casos comprobados sean meras coincidencias, y por tanto nos decidimos a publicar el trabajo, invocando el apoyo filosófico sintetizado en el epígrafe de Cajal que encabeza esta introducción, y pensando que este ensayo puede servir de estímulo a otros investigadores, y ojalá también a nuestros alumnos, para estudiar más a fondo el problema. Creemos, resumiendo, que si la hipótesis de la parábola no es generalizable, y sólo se cumple en algunas regiones, tal vez pueda hallarse otro tipo de curva, con una ecuación más complicada, que podría llegar a generalizarse, circunscribiendo así el fenómeno a un determinado marco analítico, de acuerdo con la moderna tendencia o filosofía en la Geomorfología, tal como ésta se refleja en los trabajos de Horton (17), Macar (25), Birot (2), Schumm (35), Strahler (37, 38, 39), Scheidegger (33), Leopold (21, 22, 23) y

otros. Respecto del criterio analítico que sugerimos en el capítulo V, queremos llamar la atención sobre el hecho de que, en forma similar, ha sido propuesto e introducido sistemáticamente en la Geología Física moderna en la obra del profesor Garrels (15, p. 63).

Por lo demás, nos han alentado recientemente a la publicación del trabajo, en la segunda etapa de su desarrollo, los conceptos de los profesores Derruau, de Clermont-Ferrand, y Sparks, de Cambridge, con quienes hemos consultado los aspectos del problema relativos a la interpretación parabólica de los perfiles longitudinales y sus implicaciones tectónicas.

En cuanto a la primera etapa de la investigación, queremos dejar constancia de nuestro agradecimiento hacia muchos de nuestros superiores, colegas y amigos que en diversas ocasiones nos prestaron ayuda y nos ofrecieron valiosas sugerencias. Entre ellos queremos destacar los nombres de los Sres. J. O. Bower y R. B. Wheeler, y los Dres. W. C. Hatfield, J. W. Butler, Jr., Benjamín Alvarado, Roberto Sarmiento Soto, Vicente Suárez Hoyos, Gilberto Botero Restrepo, Padre J. E. Ramírez, y el lamentado Dr. Jorge Alvares Lleras. Especial mención nos merecen el Dr. Luis Wiesner, quien nos ayudó en la parte matemática de la aplicación de la hipérbola a un grupo de perfiles (cuyos detalles omitimos en el trabajo en gracia a la brevedad) y Dn. José Patiño Ariza, quien gentilmente elaboró la mayor parte de las ilustraciones.

II — DIVERSAS INTERPRETACIONES DEL PERFIL LONGITUDINAL

El perfil longitudinal de los ríos ha sido estudiado en relación con los problemas de ingeniería hidráulica. No obstante, en las fórmulas deducidas de esas investigaciones para la curva general del perfil, ha sido indispensable introducir términos y coeficientes cuya naturaleza depende directamente de condiciones locales y particulares, probablemente íntimamente relacionadas con el complicado proceso de la sedimentación aluvial.

H. Sternberg (34, Vol. I, p. 146) ha desarrollado una ecuación para el perfil longitudinal de una corriente sobre la base de la pérdida de peso de los cantos rodados transportados, pérdida que se expresa por la relación:

$$P = P_0 \cdot e^{-cs} \quad (1)$$

en la cual P_0 es el peso del canto al comienzo de la distancia recorrida s y c es el coeficiente de erosión específica, o sea la pérdida de peso de un canto que pesa 1 kg. después de ser transportado por la corriente a la distancia de 1 metro. El valor mínimo de este coeficiente es 0.0000033 para el cuarzo, y el máximo es 0.0000100 para la piedra caliza, según una tabla que da

Schoklitsch (34, Vol. 1). La ecuación así encontrada para el perfil longitudinal es:

$$Z - Z_0 = \beta (1 - e^{-cs}) \quad (2)$$

en la cual Z y Z_0 son las elevaciones sobre el nivel del mar de dos puntos en el lecho de la corriente, separados por la distancia S (Fig. 1), β es un coeficiente y c tiene el mismo significado que en (1).

En la fórmula que precede se supone que la pendiente de la corriente es proporcional al tamaño del material detrítico, o, en otras palabras que:

$$J = \frac{dZ}{dS} = a P_0 e^{-cs} \quad (3)$$

siendo a un coeficiente. Supone también Sternberg (14, pág. 575) que el ancho medio de la corriente, B , aumenta aguas abajo proporcionalmente a la cantidad de agua o gasto Q , o en otras palabras que q es una constante en la expresión $Q/B = q$.

La primera de las dos suposiciones citadas invalida la fórmula del perfil longitudinal para las secciones superiores del cauce, pues es solamente en la sección inferior donde la reducción del tamaño de los cantos se debe solamente al desgaste. De esto se infiere que la ecuación de Sternberg para el perfil longitudinal es aplicable solamente en los casos en que los coeficientes son determinables, y a condición de que se trate de un sector bajo del cauce. Esto último significa, como es obvio, que la ecuación en referencia no puede proporcionar una representación adecuada del perfil entero de la corriente. Como representación parcial puede ser verdadera, pero como interpretación total de la curva es inadecuada.

El Dr. Bucher (4, p. 54) sugiere la idea de la curva hiperbólica cuando dice que el relieve terrestre se "acerca asintóticamente al mar". Por su parte el profesor C. A. Cotton (5, p. 47) y E. de Martonne (27, Vol II, p. 552) dicen que los perfiles longitudinales de las corrientes en equilibrio se asimilan a curvas hiperbólicas. Aun cuando ninguno de estos autores da detalles sobre las aplicaciones de las fórmulas de la hipérbola a los perfiles reales, nosotros interpretamos finalmente esta aplicación mediante fórmulas que no incluimos aquí en gracia a la brevedad, pero que nos permitieron analizar varios perfiles. De todos los casos estudiados solamente el del río Perucho (Tolima), cuyo perfil se enseña en la figura 2, coincidió con la hipérbola. Este perfil fue construido con base en los mapas del Instituto Geográfico Militar.

Finalmente, el profesor F.G.H. Blyth (3, p. 8) dice que el perfil de equilibrio de las corrientes se acerca a una curva de la forma:

$$y = a - k \log(p - x) \quad (4)$$

en donde a y k son constantes, z es la altura de un punto sobre el datum, x su distancia a la desembocadura y p la longitud total de la corriente. Agrega que la parte superior del río Mole tiene un perfil que se asimila a esta curva haciendo: $a = 241.5$ y $k = 65$, y que se ha encontrado que curvas semejantes se acomodan a los ríos Towy, Dart y Otter. Como puede verse, la ecuación en cuestión adolece de defectos semejantes a los que señalamos para las fórmulas de Sternberg, esto es,

necesidad de determinar coeficientes que sin duda dependen de condiciones y características locales.

III — INTERPRETACION PARABOLICA DEL PERFIL LONGITUDINAL

a) La ley general.

Basándonos en la simple observación de muchos perfiles longitudinales y en consideraciones mecánicas elementales como las que sugieren de Martonne (27, Vol. II, p. 554) y Passarge (30, p. 84), cuyos esquemas reproducimos en las figuras 4 y 5, supusimos que el perfil longitudinal de las corrientes cortas en equilibrio sería parabólico, en general, y procedimos a comprobarlo mediante la medición y análisis de perfiles en las regiones del Norte de Santander y del Tolima, sobre las cuales podíamos disponer de datos adecuados (Fig. 11).

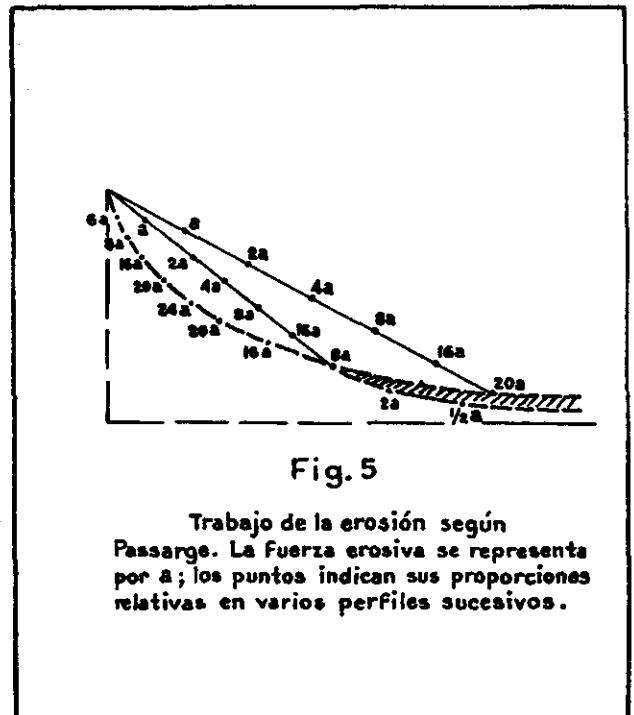
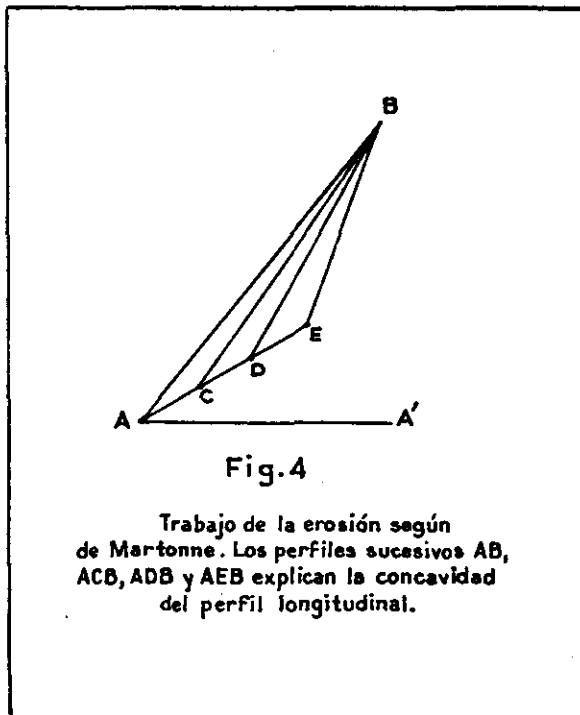
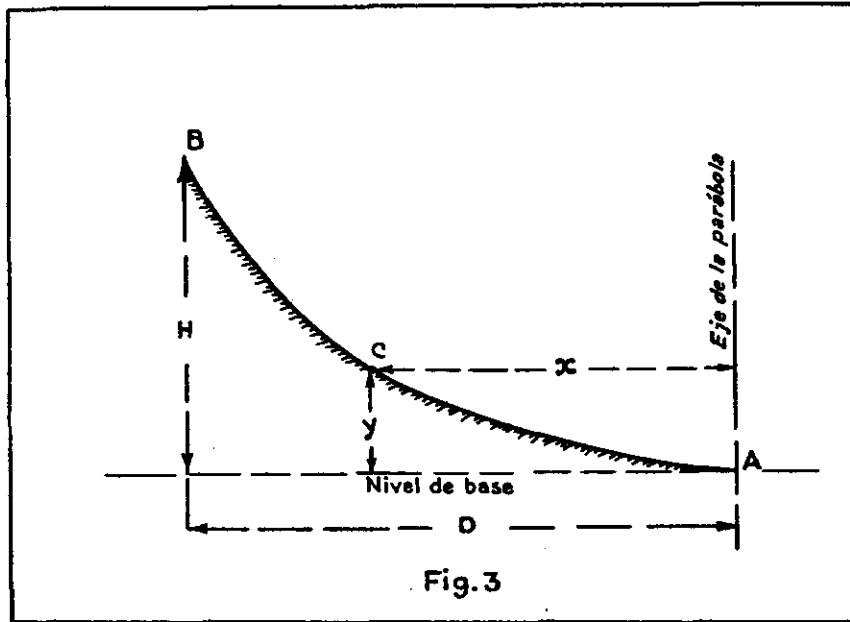
La parábola es una curva de la forma: $x^2 = ay + b$, cuyos puntos pueden calcularse por las ecuaciones (Fig. 3):

$$y = \frac{Hx^2}{D^2} ; \quad x = \sqrt{\frac{D^2 y}{H}} \quad (5, 6)$$

En el caso de las corrientes, el eje de la curva se supone vertical, siendo el vértice A el punto donde el lecho alcanza el nivel de base (final o local), es decir, el punto en donde su pendiente es prácticamente nula, o sea la desembocadura. En esta interpretación matemática se halla implícita la idea fundamental de que la corriente fluye sobre rocas esencialmente homogéneas, pues las irregularidades introducidas por la dureza diferencial de las rocas del lecho invalidan el carácter general de la ley, así como también lo invalida el desarrollo de depósitos aluviales de alguna consideración, lo cual restringe la ley a las corrientes pequeñas (ríos pequeños, arroyos, quebradas, etc.). Se supone también que la región no ha sido afectada recientemente por hundimientos o levantamientos orogénicos durante la evolución de la corriente. La condición de "equilibrio" es asimismo fundamental en esta interpretación, y para una definición concisa de lo que ella implica remitimos al lector a la parte V.

La confrontación de un buen número de perfiles longitudinales cuidadosamente seleccionados, con las curvas parabólicas respectivas probó que aquéllos las satisfacían en su mayor parte. Las figuras 6, 7 y 8 muestran tres de estos casos; los círculos representan elevaciones reales, mientras que las pequeñas cruces señalan los puntos calculados con la ecuación (5. Los valores de x fueron medidos desde las desembocaduras (vértice A de la parábola) sobre los mapas, siguiendo todas las sinuosidades del curso. Las discrepancias entre las curvas calculadas, dibujadas a trazos, y los perfiles verdaderos, representados por líneas continuas, no exceden del 2 por ciento de la elevación total H en estos ejemplos.

La corriente de la figura 6 fluye sobre rocas muy homogéneas, y su parábola es casi perfecta. El perfil longitudinal ilustrado en la figura 7 se aproxima también bastante a la curva parabólica a pesar de la dureza diferencial de las rocas del lecho y de algunas complicaciones tectónicas que allí se ilustran. No poseemos datos sobre las condiciones geológicas de la quebrada de la figura 8, cuyo perfil se basa en los datos de los mapas del Instituto Geográfico Militar.



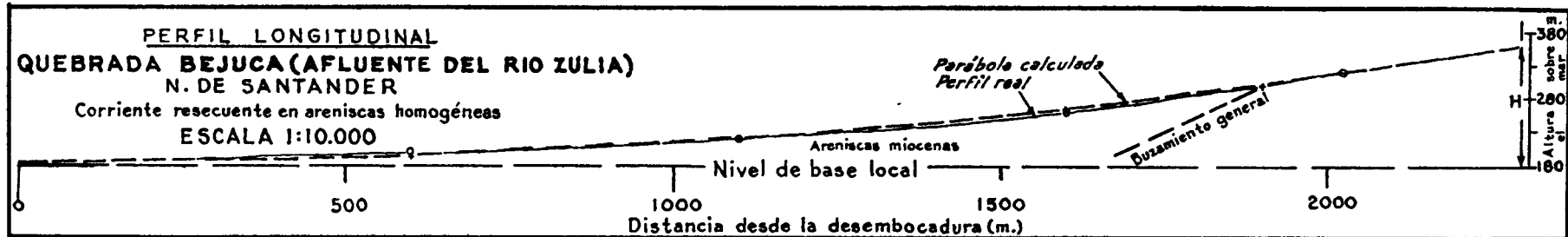


Fig. 6

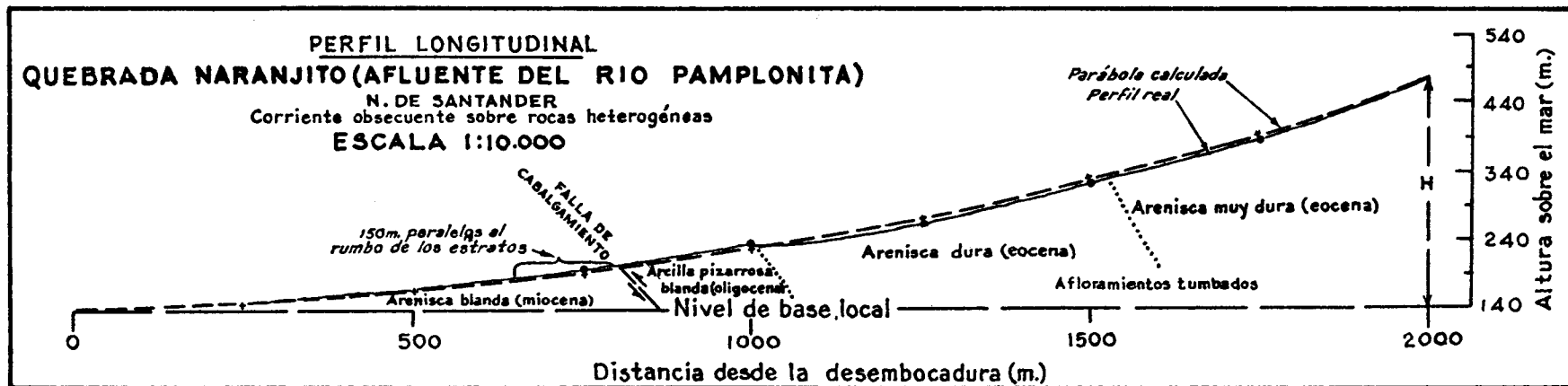


Fig. 7

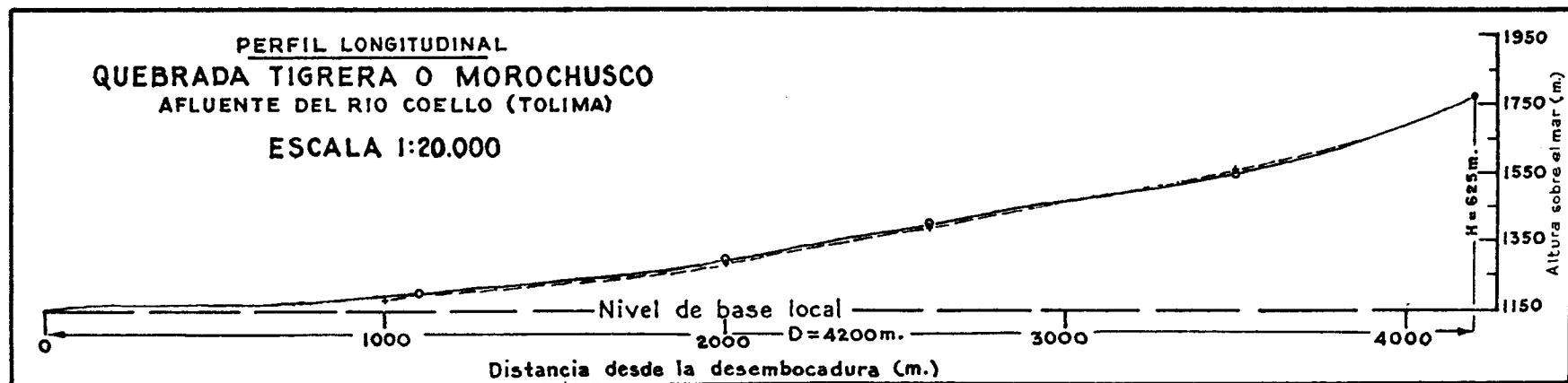
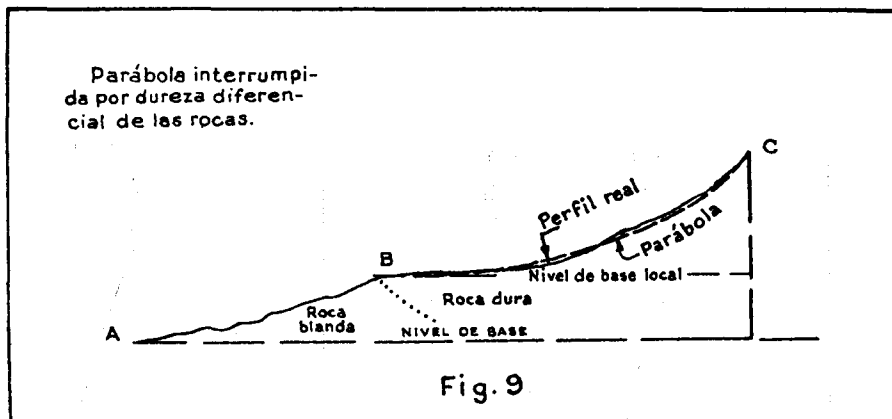


Fig. 8



b) Estudio de las discrepancias

Con el objeto de entender mejor las discrepancias apreciables de algunos de los perfiles reales con las respectivas parábolas hicimos un detenido examen de cada uno de los casos pertinentes, siempre que dispusimos de información geológica, y encontramos que en algunos de ellos se presentaban notables diferencias en la dureza de las rocas del lecho, mientras que en otros observamos la presencia de fallas que sugerían la posibilidad de movimientos apreciables durante la vida o evolución de los valles afectados. En la figura 9 hemos generalizado el primero de estos dos casos; se encontró que, desechando el sector inferior *AB* del perfil que se halla esculpido en las rocas blandas, el sector superior restante, *BC*, sobre las rocas duras, satisfizo muy aproximadamente la parábola.

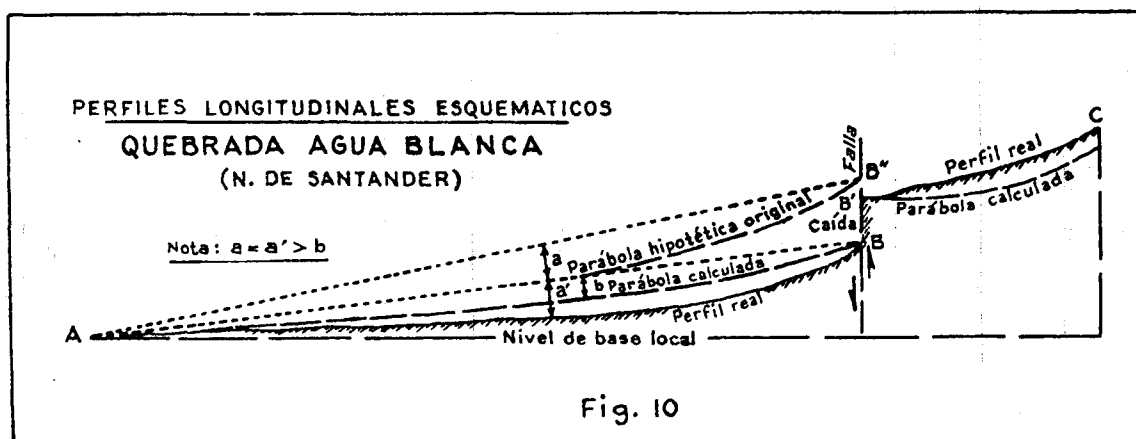
En cuanto al caso de los valles fallados, tomamos para su estudio uno en donde la falla estaba perfectamente reflejada en la topografía, pues originaba una caída o salto de 20 ó 30 metros. Este caso, de la quebrada Agua Blanca, constituye un interesantísimo ejemplo, pues nos ha proporcionado el argumento para sugerir la aplicación b) del análisis a que más adelante nos referimos. El fundamento de dicha aplicación es la posibilidad de inferir el movimiento relativo de los dos bloques de la falla, cuando éste ha ocurrido, total o parcialmente, después de que el valle afectado ha alcanzado el supuesto perfil de equilibrio. El criterio se basa en las consideraciones que siguen.

La figura 10 representa esquemáticamente las condiciones existentes en la quebrada Agua Blanca antes nombrada. La parábola entre A y C se halla evidentemente destruída por el salto en *BB'*, producido por la falla

cuyos dos labios sufrieron el movimiento relativo que allí se indica. Las parábolas calculadas para cada uno de los sectores de corriente *AB* y *B'C* resultaron, la primera más alta que el perfil real, y la segunda más baja, como puede apreciarse en el esquema. Teniendo en cuenta que la magnitud de las flechas como *a*, *a'* y *b* depende de la diferencia de nivel entre el vértice *A* de la parábola y su punto más alto *B*, para una misma distancia horizontal, puede inferirse que la curva del perfil real *AB*, puesto que tiene una flecha *a'* mayor que la flecha *b* de la parábola calculada, puede ser una curva parabólica, o aproximadamente parabólica, esculpida por la corriente cuando el extremo superior *B* se hallaba más alto, como en *B''*, por ejemplo, antes de que hubiera tenido lugar el desplazamiento *B''B* producido por la falla. De la misma manera puede colegirse que la curva *B'C* debió haber sido una parábola construída por ese sector de la corriente cuando el bloque levantado de la falla ocupaba una posición más baja que la actual (Fig. 11).

Debe advertirse, por supuesto, que el hecho de hallarse el perfil real del sector *B'C* más alto que la parábola calculada no es prueba concluyente de que dicho sector haya sufrido levantamiento, pues bien puede suceder que la erosión no haya terminado su trabajo de equilibrar la corriente alcanzando la parábola. Sin embargo, el argumento cobra mayor fuerza a favor del movimiento ascendente del bloque si se considera el caso conjuntamente con el del bloque inferior *AB* (Figs. 10 y 11).

En resumen, del análisis de la corriente en cuestión se infiere que los dos bloques de la falla se han desplazado relativamente en la forma que la figura indica, conclusión que concuerda con la evidencia geológica.



Es preciso advertir, empero, que esto no significa que todo el movimiento en el plano de la falla haya tenido lugar después de la erosión del valle de la quebrada; por el contrario, la hipótesis aquí propuesta implica la existencia de la falla con anterioridad al desarrollo de la corriente, y la repetición del movimiento en época posterior, relativamente reciente geológicamente hablando, después de que los dos sectores del cauce hubieron alcanzado (total o aproximadamente) su perfil parabólico de equilibrio.

IV — POSIBLES APLICACIONES A LA INGENIERIA

a) Aplicación topográfica

La asimilación del perfil longitudinal de las corrientes a una curva matemática ofrece un sistema obvio para el cálculo de las elevaciones o cotas del lecho de la corriente. En el caso de la parábola éstas pueden calcularse por medio de la fórmula (5, en función de las distancias desde la desembocadura, medidas sobre el mapa siguiendo todas las sinuosidades del curso (x), de la diferencia de nivel entre el punto más bajo y el más alto (H), y de la longitud total de la corriente (D).

Naturalmente, la interpolación de curvas de nivel en cualquier caso podrá hacerse buscando como control un número adecuado de puntos calculados y convenientemente situados, pero podría también calcularse metódicamente la intersección de cada curva de nivel con el lecho de la corriente mediante la fórmula (6, es decir, calculando su distancia al punto más bajo o desembocadura (A). En este caso podrá sistematizarse el procedimiento usando la siguiente expresión deducida de la fórmula (6):

$$x = \sqrt{\frac{D^2}{H}} \times \sqrt{C - A}, \quad (7)$$

en la cual el primer radical sería una constante para cada corriente, y en el segundo entraría la diferencia entre la cota correspondiente a la curva de nivel que se tratara de localizar (C) y la cota del punto más bajo (A).

La utilidad de la aplicación que se acaba de discutir, a los levantamientos topográficos es obvia, pero nosotros deseamos llamar la atención hacia las posibilidades que ofrece también en el campo de la foto-topografía. En efecto, la posibilidad de aumentar en las fotografías aéreas la densidad del control vertical sin trabajo de campo adicional es un paso muy importante en la solución del difícil problema de la corrección de las distorsiones debidas a los errores de horizontalidad de la cámara fotogramétrica. La índole del presente trabajo, sin embargo, no nos permite entrar en detalles sobre este punto (11).

b) Aplicación a las investigaciones sobre diversos proyectos de ingeniería.

Esta aplicación consiste esencialmente en la obtención de datos sobre la estabilidad de la corteza terrestre en las zonas interesadas por proyectos importantes de ingeniería, ya sean éstos de hidráulica, de vías de comunicación, de saneamiento, etc. La clave del problema es la posibilidad de deducir, mediante el análisis de los perfiles

de las corrientes explicado en a), la presencia o ausencia de movimientos en los planos de las fallas, ocurridos en época relativamente reciente, como es la de la evolución de los valles, y que permitan o den fundamento para sospechar que se repitan, dada la naturaleza intermitente que a veces poseen estos fenómenos, durante la vida futura de las estructuras y construcciones que se proyectan, y que puedan ser más o menos afectadas por dichos movimientos. La índole del problema requiere desde luego, que el estudio sea hecho a la luz de los datos geológicos que pueda proporcionar una investigación detallada de esta clase.

Nosotros hemos verificado el análisis colectivo de las corrientes de la región que se ilustra en la figura 12, empleando el mismo criterio explicado en relación con la quebrada Agua Blanca (Fig. 10), y hemos llegado a las siguientes conclusiones:

1—Los valles de algunas de las corrientes fueron levantados, mientras que otros fueron hundidos, según se indica con símbolos en la figura 12.

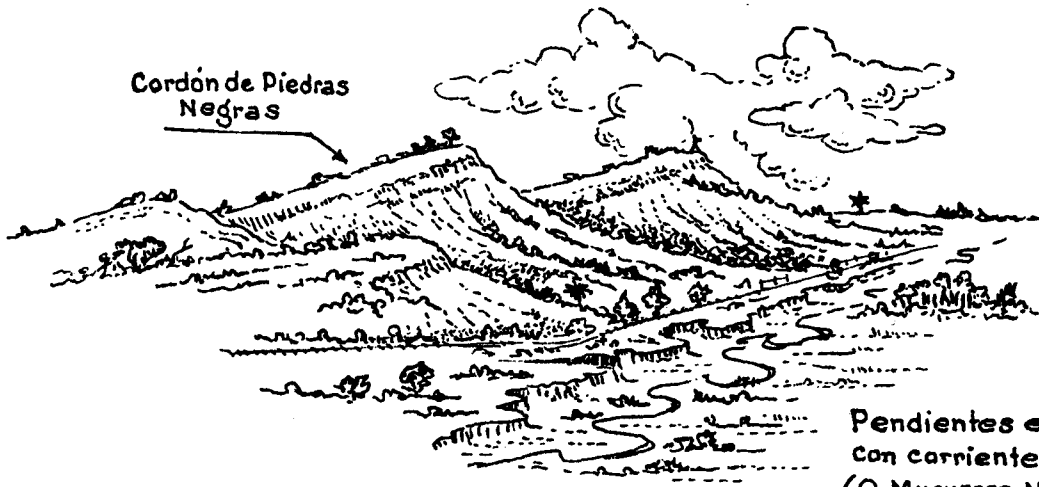
2—La disposición relativa de las corrientes levantadas y de las hundidas concuerda íntegramente con los movimientos relativos de las distintas zonas de la región que sugieren las fallas (concordancia cualitativa).

3—La magnitud de los desplazamientos inferidos para los valles de las corrientes guarda íntima relación con sus posiciones relativas entre sí y con respecto al eje imaginario de rotación del bloque limitado por las fallas 1 y 2, según se esquematiza en la sección al lado derecho de la figura (concordancia cuantitativa).

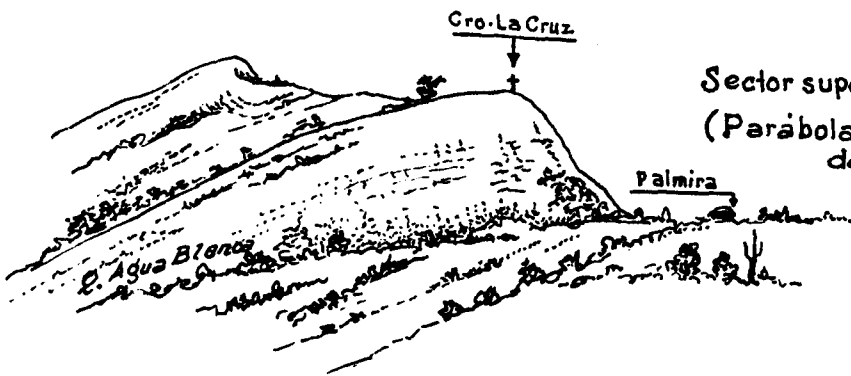
4—La concurrencia concomitante de los factores señalados permite inferir que el bloque entre las fallas transversales normales 1 y 2 ha sufrido, en época relativamente reciente, durante la evolución de los valles de las corrientes, un movimiento aproximadamente giratorio, alrededor del eje indicado en la figura, que se esquematiza en la sección aludida.

Cabe añadir que, puesto que las fallas en la región estudiada han dislocado valles que se suponían ya equilibrados en el Cuaternario (Pleistoceno-Reciente?), en tanto que el origen de aquéllas se remonta a un período próximo en la escala geológica pero separado por centenares de milenios (Mioceno?), puede suponerse que el movimiento de la corteza en los planos de dichas fallas es intermitente (40), y que por lo tanto existe la posibilidad de que se repita en cualquier época próxima o remota. Nada podría predecirse en cuanto a la magnitud de un posible movimiento futuro, pero los ingenieros saben muy bien que bastan unos cuantos centímetros para poner en peligro la estabilidad o la eficiencia de ciertas obras (10, 19, 20, 41), para no hablar de los efectos francamente destructivos o catastróficos.

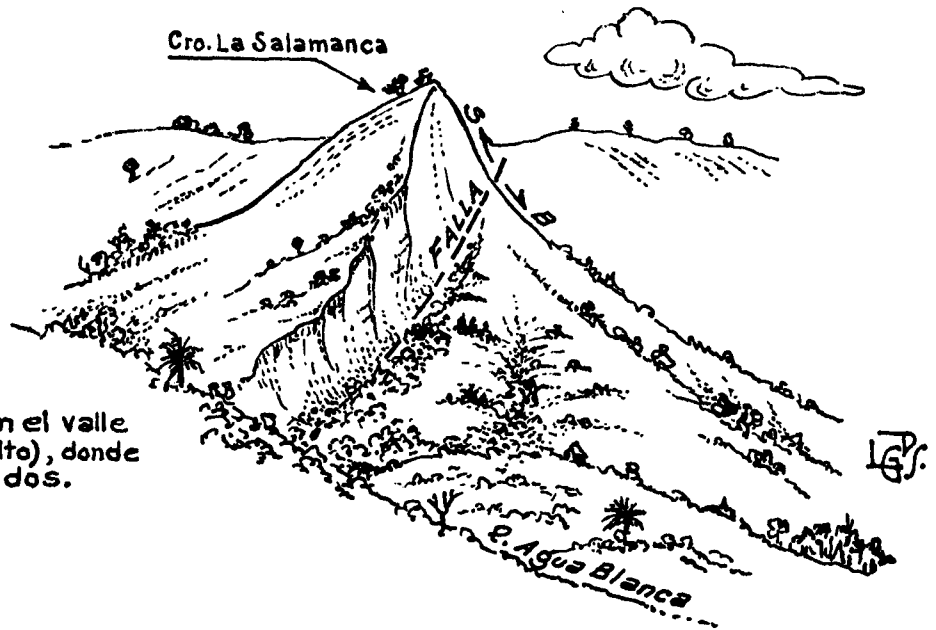
Es preciso observar también, con respecto al método de análisis propuesto, que su carácter diagnóstico es exclusivamente positivo o confirmatorio, pues si bien de sus resultados positivos se puede inferir que se han presentado movimientos de la corteza, sus resultados negativos no prueban necesariamente lo contrario, ya que la erosión puede, en alguna forma que no es difícil imaginar, destruir o borrar las anomalías y alteraciones del relieve producidas esporádicamente.



Pendientes estructurales con corrientes parabólicas (Q. Mucurera, N. de Santander)



Sector superior de la Q. Agua Blanca (Parábola "levantada", arriba del salto)



Intersección de la falla con el valle de la Q. Agua Blanca (salto), donde la parábola se divide en dos. (Falla 1 de la Fig.12)

Fig.11- ALGUNOS ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DE CORRIENTES ANALIZADAS

V — POSIBLE APLICACION A LA GEOMORFOLOGIA TEORICA

Los conceptos de perfil de equilibrio y nivel de base, según nos dice E. de Martonne, fueron introducidos en la Geología por Dausse y Powell, en 1872 y 1873, respectivamente. Por nivel de base se entiende el nivel que la erosión tiende a alcanzar en su trabajo continuo sobre los continentes; de una manera general, este nivel es el del océano, pero las partes más bajas de las distintas áreas consideradas aisladamente, constituyen niveles de base locales o temporales. Para cada sistema de drenaje su nivel de base local es el del río o corriente principal hacia donde fluyen sus componentes (12, 24, 40).

El perfil de equilibrio de una corriente es aquel que ofrece una pendiente tal que no permite el progreso de la erosión, en tanto que facilita el transporte completo del material procedente de los afluentes. Esta es una definición conveniente, pero la definición concisa y exacta, como lo anota von Engel (13, p. 133), es muy difícil. El perfil de equilibrio en una corriente, una vez alcanzado, se mantiene durante todo el resto de su vida o de su evolución. En las propias palabras del profesor Engel: "el mantenimiento del perfil de equilibrio consiste en una serie infinita y continua de reajustes entre el vo-

lumen, la pendiente, y la cantidad de sedimentos. Estos reajustes se hacen por variaciones y alternaciones en el socavamiento, la sedimentación y el transporte... se refleja en una curva de descenso continuo que, después de alcanzada, se halla continuamente sujeta a modificaciones, pero que siempre se mantiene...".

Si la generalización de la curva parabólica para el perfil de equilibrio de las corrientes es válida para las partes hasta aquí discutidas de este trabajo, creemos que la generalización puede extenderse al dominio de los conceptos teóricos que definen las etapas del ciclo geomórfico. Proponemos simplemente traducir, o especificar en términos matemáticos, lo que hasta ahora se ha venido expresando con términos muy vagos, o apenas aritméticos (5, p. 55).

De acuerdo con W. M. Davis (13, p. 140; 24, p. 161), cuando las corrientes principales (trunk streams) se hallan en equilibrio (graded), se ha alcanzado la temprana madurez; cuando los pequeños afluentes laterales se hallan también en equilibrio, el estado del ciclo es de madurez avanzada; y cuando hasta las corrientes menores intermitentes se han equilibrado, se ha iniciado la vejez. Substituyendo en estas líneas la expresión "en equilibrio" por "perfil parabólico" habremos introducido en la descripción de las características o determinantes

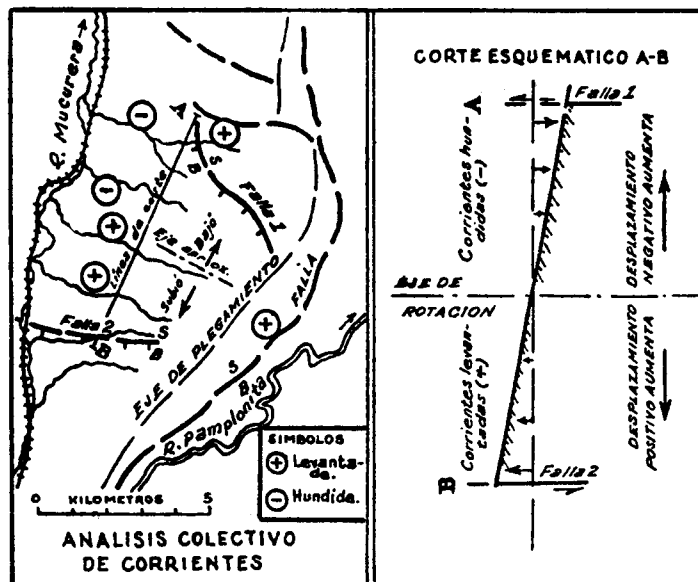


Fig. 12

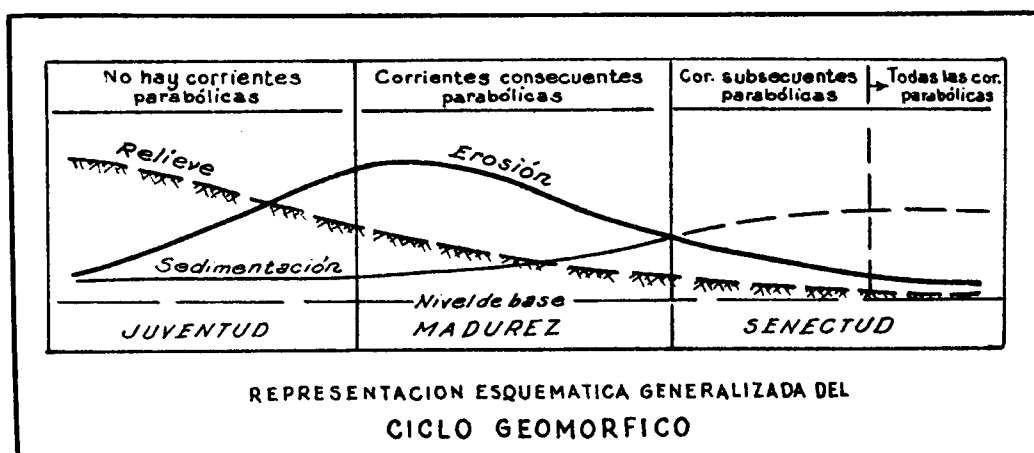


Fig. 13

de las diferentes etapas del ciclo geomórfico un concepto matemático que permitirá proceder analíticamente en los estudios fisiográficos. Pero a fin de hacer más exacta esta apreciación analítica del ciclo geomórfico, preferimos substituir al mismo tiempo los términos descriptivos de las corrientes por sus respectivas denominaciones genéticas, pues creemos que así quedarán debidamente expresadas las relaciones entre las características cualitativas y cuantitativas de los procesos que integran tan complicado como interesante fenómeno. Para la definición y discusión de los diversos tipos genéticos de corrientes remitimos al lector a las obras de Lobeck (24) y Thornbury (40).

De acuerdo con el criterio expresado, creemos que puede esquematizarse el ciclo geomórfico como lo hemos hecho en el diagrama de la figura 13, en el cual, sobre las curvas que expresan las magnitudes relativas de los principales procesos operantes durante el ciclo geomórfico, constructivos y destructivos, se han señalado las distintas etapas en la base y las características determinantes en la parte superior. Obsérvese que simultáneamente con los procesos se muestra en este diagrama la curva representativa del relieve, considerada en cierto modo como la resultante efectiva y la característica más notable de la etapa respectiva en el ciclo. La forma de la curva de la sedimentación puede prestarse a discusión en el sector correspondiente a la senectud, pues podría argüirse que, si la erosión continúa disminuyendo, la sedimentación debería hacer lo mismo; sin embargo, durante la senectud la sedimentación es un factor muy importante, responsable de muchas formas de la tierra del tipo constructivo, debido quizás principalmente a la colaboración que recibe de parte de la meteorización, un proceso que aumenta continuamente durante toda la duración del ciclo. Por lo demás, la representación gráfica de los procesos en el ciclo geomórfico en regiones áridas necesita mayor estudio y consideración, debido al hecho fundamental de la interrupción en la integración del drenaje, hecho que podría requerir una interpretación especial diferente (15).

Para finalizar esta parte de nuestro ensayo relativa a su aspecto teórico, queremos llamar la atención hacia el significado que la aceptación de los principios propuestos, o cualesquiera otros a ellos semejantes, tendrían dentro del desarrollo de las tendencias predominantes en el campo de la Geomorfología. Aun cuando no estamos suficientemente familiarizados con la escuela geomorfológica alemana de Penck, creemos que nuestra tesis vendría a ocupar una curiosa posición entre esta escuela y su rival, la única aceptada en América, o sea la de Davis (7, 8, 31).

Las escuelas de Davis y de Penck se inspiran en principios esencialmente diferentes (13, p. 262). Para la primera de ellas las formas de la tierra de una región dada son la expresión de una etapa que pertenece a una secuencia progresiva; su interpretación correcta permite la localización del fenómeno en el tiempo y en el espacio. Para la segunda, las formas de la tierra son la expresión de la fase y de la razón o relación de solevantamiento de la corteza con respecto al allanamiento o degradación de la misma; el "aufsteigende", "absteigende" y "gleichförmige entwicklung" (desarrollo acelerado, retardado y uniforme) son en cierto sentido procesos que Penck interpreta cualitativa y cuantitativamente por medio del análisis de las pendientes, en el cual actúan a modo de claves las líneas convexas, las cóncavas y las rectas (31).

La dualidad del principio parabólico propuesto residiría por lo tanto, en el hecho de ser esencialmente el análisis de una pendiente, por una parte, en tanto que por la otra estaría ligado al concepto davisiano del ciclo y del consiguiente desarrollo en rigurosa secuencia que él implica (en su concepción teórica ideal, naturalmente) (18, 36).

Pero el objeto de esta observación es algo más que el de señalar una simple posición curiosa. Tratamos de sugerir un punto de contacto o de conciliación, si es que ello no es imposible por otras razones que se nos escapan, entre estas dos grandes tendencias rivales, americana la primera y europea la segunda, en el campo de la Geomorfología. Esta conciliación acaso fuera fecunda para ambas en más de un sentido, a nuestro modo de ver, pero si no lo fuera, tenemos la esperanza de que al menos, como fruto de la tentativa de conciliación, la escuela de Davis podría perder la supremacía dictatorial de que goza en América y que, en nuestra opinión, ha hecho de este gran hombre de ciencia (seguramente muy a pesar suyo) el Aristóteles de esta rama de la Geología, en el sentido en que a éste se refiere Bertrand Russell en sus ensayos sobre crítica histórica de la Ciencia.

BIBLIOGRAFIA

1. BAULIG, H.,
"Essais de Géomorphologie", Soc. d'Édition: Les Belles Lettres, Paris, 1950.
2. BIROT, P.,
"Essai sur Quelques Problèmes de Morphologie Générale", Inst. para Alta Cultura, Lisboa, 1949.
3. BLYTH, F. G. H.,
"Geology for Engineers", Edward Arnold & Co., London, 1945.
4. BUCHER, W. H.,
"The Deformations of the Earth's Crust", Princeton Univ. Press, 1934.
5. COTTON C. A.,
"Landscape as Developed by the Processes of Normal Erosion", Cambridge Univ. Press., 2nd. Ed., 1948.
6. COTTON, C. A.,
"Tectonic Scarps and Fault Valleys", Bull. Geol. Soc. of America, V. 61, July 1950.
7. DAVIS, W. M.,
"Die Erklärende Beschreibung der Landformen", B. G. Teubner, Leipzig-Berlin, 1924.
8. DAVIS, W. M.,
"Geographical Essays", Dover Publ. Inc. (1909) 1954.
9. DERRUAU, M.,
"Précis de Géomorphologie", Masson & Cie., Paris, 3ème. Ed., 1962.
10. DESIO, A.,
"Geologia Applicata alla Ingegneria", 2ª Ed., Ulrico Hoepli, Milano, 1959.
11. DURAN, L. G.,
"Topografía y Fisiografía", Anales de Ingeniería, Soc. Col. de Ingenieros, Bogotá, Dic. 1949.
12. DUTTON. C. E.,
"The Physical Geology of the Grand Cañon District", U. S. Geol. Survey, 2nd. Annual Rept., 1882.
13. ENGELN, von, O.,
"Geomorphology", Macmillan Co., N. York, 1942.

14. FORCHHEIMER, Ph.,
"Tratado de Hidráulica", Labor, Buenos Aires, 1939.
15. GARRELS, R. M.,
"A Textbook of Geology", Harper & Brothers, N. York, 1951.
16. GOGUEL, J.,
"Application de la Géologie aux Travaux de l'Ingénieur", Masson & Cie., Paris, 1959.
17. HORTON, R. E.,
"Erosional Development of Streams and their Drainage Basins", Bull. Geol. Soc. of America, V. 56, March 1945.
18. KING, L. C.,
"Canons of Landscape Evolution", Bull. Geol. Soc. of America, V. 64, July, 1953.
19. KRYNINE, D. P. - JUDD, W. R.,
"Principles of Engineering Geology and Geotechnics", McGraw-Hill Book Co., N. York, 1957.
20. LEGGET, R. F.,
"Geology and Engineering", 2nd. Ed., Mc Graw-Hill Book Co., N. York, 1962.
21. LEOPOLD, L. B., - MADDOCK, Jr., T.,
"The Hydraulic Geometry of Streams Channels and Some Physiographic Implications", U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 252, 1953.
22. LEOPOLD, L. B., - MILLER, J. P.,
"Ephemeral Streams - Hydraulic Factors and their Relations to the Drainage Net", U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 271, 1955.
23. LEOPOLD, L. B., - LANGBEIN, W. B.,
"Association and Indeterminacy in Geomorphology", in "The Fabric of Geology", C. C. Albritton, Jr., Editor, Addison-Wesley Publ. Co., Inc., Reading, Mass., 1963.
24. LOBECK, A. K.,
"Geomorphology", McGraw-Hill Book Co., N. York, 1939.
25. MACAR, P.,
"Principes de Géomorphologie Normale", Impr. de l'Académie, Liège, 1946.
26. MACKIN, J. H.,
"Concept of the Graded River", Bull. Geol. Soc. of America, V. 59, March 1948.
27. MARTONNE, de, E.,
"Traité de Géographie Physique", 3 vols., Armand Colin, Paris, 1935.
28. MELTON, F. A.,
"Aerial Photographs and Structural Geomorphology", Journ. of Geology, V. 67, July 1959.
29. NICKELL, F. A.,
"Development and Use of Engineering Geology", Bull. Amer. Assoc. of Petroleum Geologists, V. 26, Dic. 1942.
30. PASSARGE, S.,
"Geomorfología", Labor, Barcelona, 1931.
31. PENCK, W.,
"Morphological Analysis of Land Forms", Macmillan & Co., London (1924) 1953.
32. ROSS, R. M.,
"Foundation Exploration and Geologic Studies at Gunterville Dam", American Soc. of Civil Engineers, N° 3, 1940.
33. SCHEIDEGGER, A. E.,
"Theoretical Geomorphology", Springer-Verlag, Berlin, 1961.
34. SCHOKLITSCH, A.,
"Arquitectura Hidráulica", 2 vols., G. Gili, Barcelona, 1925.
35. SCHUMM, S. A.,
"Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey", Bull. Geol. Soc. of America, V. 67, May 1956.
36. SPARKS, B. W.,
"Geomorphology", Longmans, Green & Co., Ltd., London, 1960.
37. STRAHLER, A. N.,
"Dynamic Basis of Geomorphology", Bull. Geol. Soc. of America, V. 63, Sep. 1952.
38. STRAHLER, A. N.,
"Hypsometric (Area-Latitude) Analysis of Erosional Topography", Bull. Geol. Soc. of America, V. 63, Nov. 1952.
39. STRAHLER, A. N.,
"Quantitative Slope Analysis", Bull. Geol. Soc. of America, V. 67, May 1956.
40. THORNBURY, W. D.,
"Principios de Geomorfología", Edit. Capelusz, Buenos Aires, (1954) 1958.
41. ZARUBA, Q. - MENCL, V.,
"Ingenieurgeologie", Akademie-Verlag, Berlin, 1961.