

INVESTIGACIONES MORFOLOGICAS Y CARTOGRAFICAS EN LECHOS FLUVIALES DE LA CORDILLERA DE LA COSTA (CHILE CEN- TRAL-HOYA DEL HUENCHULLAMI)

por JOSÉ FRANCISCO ARAYA

Las crecidas excepcionales de los ríos de Chile Central (de régimen nival) en diciembre de 1963 y enero de 1964 motivaron el recorrido de algunas hoyas hidrográficas para observar el funcionamiento de los lechos y cauces.

Aprovechando la experiencia dada por este observatorio natural, se decidió ensayar la cartografía detallada de los lechos eligiendo muestras típicas, para lo cual se hizo una campaña de terreno a la hoya del río Huenchullamí ($35^{\circ} 5' S$ - $72^{\circ} W$), con esteros y ríos de régimen pluvial. Durante ella se recolectaron muestras de sedimentos, realizándose conjuntamente la cartografía detallada de algunos lechos, con la intención de reconstituir la dinámica en invierno, época de las crecidas pluviales.

METODOS

Los métodos seguidos en el terreno y en el Laboratorio de Geomorfología están orientados a dos fines principales: a) mostrar la naturaleza de los thalwegs de orden avanzado, y b) la reconstitución de los procesos. Por lo tanto, antes de iniciar el levantamiento y el muestreo se hicieron en cada punto las siguientes observaciones:

- 1 Ubicación geomorfológica del lecho, fijando las formas circundantes y la estructura del lecho mismo.
2. El thalweg. Substrato y granulometría global. Tipos de cauce y de orilla de choque, etc.

Después se realizó la observación detallada de las microformas para ver las partes que se iban a distinguir en el levantamiento. Este último consistió en una triangulación a brújula, en la que se empleó el método de la intersección. Puede usarse también ventajosamente la plancheta. Sólo después de un acucioso relleno de la triangulación con los fenómenos, se efectuó el muestreo para ubicar bien

la posición morfológica de la muestra. En el caso nuestro fue mejorada la representación cartográfica solamente después del análisis de los materiales en el laboratorio. Algunos detalles sobre el muestreo se conocerán en el análisis de la carta.

Antes de pasar a ello hay que hacer notar que el análisis de los sedimentos ha servido también para conocer los siguientes aspectos sobre las series petrográficas de los thalwegs: áreas de origen, aporte de cada afluente principal, evolución de los sedimentos gruesos, papel de las arenas.

LOS PROCESOS

1. CONCLUSIONES SOBRE LA OBSERVACIÓN DE LA CARTA MORFOLÓGICA DEL LECHO.

a) *La carta geomorfológica.* Si se observa detenidamente las cartas de los lechos, se advierte que existen, entre las arenas, principalmente arenas gruesas y muy gruesas. Entre los materiales gruesos hay gravillas y gravas, contándose junto a las últimas algunos ripios. En muy pocos casos estos materiales están entrabados por la vegetación. Se citan en seguida todas las microrrupturas de pendiente, lo que permite afirmar que el lecho debe ser dividido en diferentes sectores que constituyen una complicación con respecto a la división tradicional del lecho de un río (Figs. 1 y 2).

Por otra parte, los materiales gruesos tienen una distribución especial con respecto a las arenas. En general están dispuestos en lo que hemos decidido denominar *lentes de selección*, por ubicarse los materiales de tal manera, que su tamaño disminuye aguas abajo. Esta tendencia suele mostrarse incluso en los sectores solamente arenosos, donde las arenas muy gruesas se mezclan con las *sábulas*. Allí hay *lentes de selección areno-sabulosos* (Fig. 3).

b) *Los perfiles transversales.* Para una mejor comprensión de la carta se ha agregado un corte transversal que coincide con la línea base de triangulación. Aquí se distinguen las rupturas de pendiente en su totalidad, que han sido directamente medidas. Todo nos ayuda a comprender que la sección fundamental del lecho está enmarcada en una caja grabada en el fondo del valle, que también es detrítico. Es fácil por consiguiente advertir que el lecho puede ser dividido en tres partes: lecho menor, lecho mayor periódico y lecho mayor episódico.

2. COMPORTAMIENTO DEL LECHO MAYOR EPISÓDICO.

Atendiendo a que la configuración de los lechos periódico y menor puede variar en las grandes crecidas, apareciendo su disposición final a medida que las aguas bajan, se ha preferido tratar primero el lecho episódico.

a) *Tipo de cauce:* La sección transversal del lecho muestra la posible extensión del cauce. Hay que recordar que el lecho episódico es aquel que marca la extensión de las crecidas excepcionales, que influyen en la repartición de los materiales gruesos de la siguiente manera: los individuos de tamaño mayor están

REFERENCIAS PARA LA CARTA GEOMORFOLÓGICA DEL LECHO

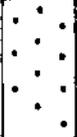
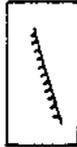
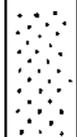
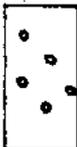
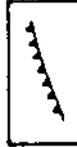
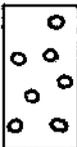
RUPTURAS DE PENDIENTE		GRANULOMETRÍA		
	0 a 20 cms.			
	20 a 100 cms.			
	más de 1 mt.			

FIG. 46C

Fig. 3

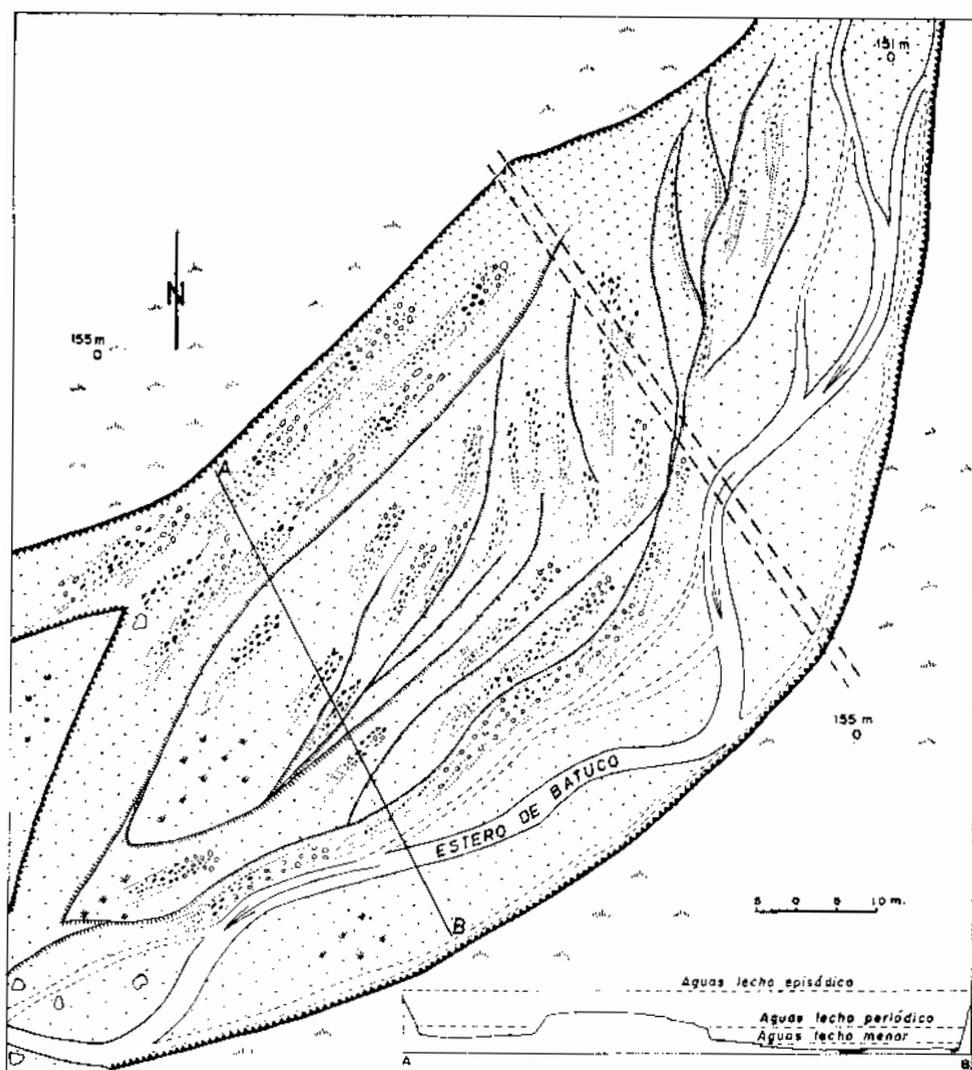


Fig. 1. Lecho del Estero de Batuco en El Molino. Escala original 1:500. Coordenadas del centro: $35^{\circ}9,5'S$ y $71^{\circ}59,6'W$. Levantamiento a brújula realizado en enero de 1964 por el autor. (Acimutes magnéticos).

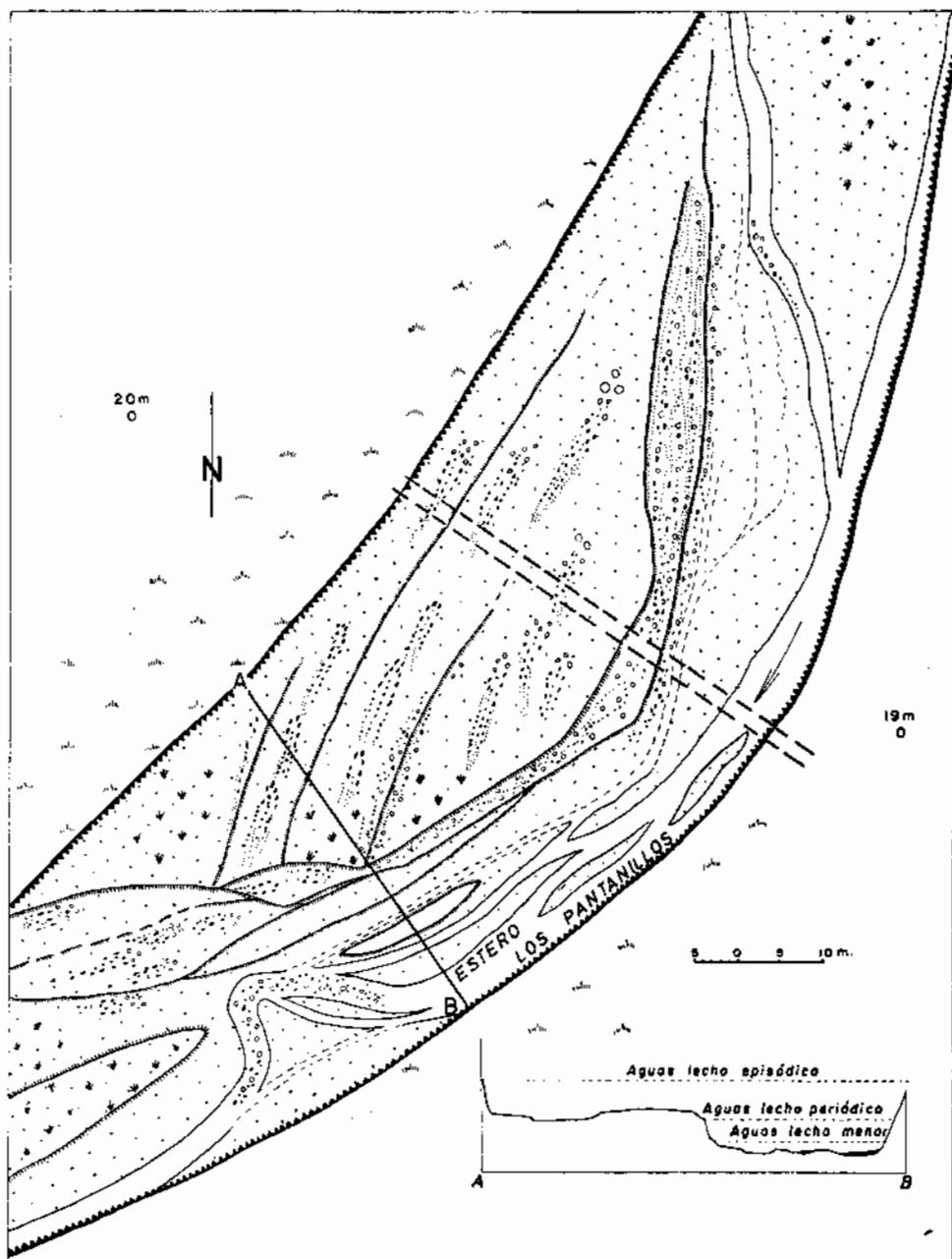


Fig. 2. Lecho del Estero de los Pantanillos en Pantanillos. Escala original 1:500. Coordenadas del centro $35^{\circ}14'$ Sur y $72^{\circ}2,5'$ W. Levantamiento a brújula realizado en enero de 1964 por el autor. (Acimutes magnéticos).

lejos de las aguas de estiaje; estos individuos están ubicados en los lentes más altos; las orientaciones planimétricas de los grupos de cantos rodados tienen distintas direcciones y afectan la forma de un lente de selección.

Todo nos indica que el cauce del lecho episódico tiene las siguientes características: ocupa toda la caja fluvial; puede ocupar incluso todo el fondo del valle (constatado por observaciones directas el año 1962 y encuestas hechas a los campesinos); funciona en la mayoría de los casos como un canal unificado, aceptando muy pocas difluencias; finalmente, ello requiere un cauce con meandros encajados entre las paredes de la terraza o entre los costados del fondo del valle sencillamente.

b) *¿Cómo actúa el río con los aluviones gruesos?*: En las cartas de los esteros Los Pantanillos y Batuco (ver cartas y signos convencionales) se ve que el río arrastra desde ripios pequeños hasta gravillas. Hay varias pruebas que demuestran que aquél arrastra aluviones gruesos sólo en las más altas crecidas. Los cantos rodados muestran los siguientes hechos observacionales dignos de consideración:

—El desgaste de los cantos no progresa paralelamente con el aplanamiento. Hay ocasiones en que incluso éste disminuye con aquél.

—La disposición planimétrica de los rodados indica que corresponden a aguas que tienden a seguir el camino más corto posible. En efecto, los llamados *lentes de selección* tienen la forma de un huso asimétrico con los materiales mayores aguas arriba y los menores aguas abajo. La orientación del eje mayor de este huso indica incuestionablemente la dirección de los ejes principales del escurrimiento condicionados por la onda de crecida y la dirección de las aguas al bajar con el consecuente poder lixivante por arrastre selectivo.

—Los estudios de pesos de los rodados han indicado que es mucho más fácil que el río arrastre muchos rodados pequeños que muy pocos grandes, lo que está de acuerdo con la ley del transporte selectivo.

—Los cantos son arrastrados y depositados en distintas direcciones según las aguas vayan subiendo, estén en su mayor altura o vayan bajando.

—La alternancia entre arrastre y deposición se va efectuando a la manera de cómo avanza una duna.

c) *Comportamiento frente a las arenas*: En principio, podemos clasificar las arenas en dos tipos: arenas que son depositadas junto a los rodados y arenas dejadas aparte de aquéllos (Fig. 4).

Si se detiene la atención en las curvas granulométricas se verá que ellas afectan formas distintas según sea su ubicación geomorfológica en el lecho. En efecto, los muestreos han sido hechos en los siguientes puntos: sector del lente de lecho mayor con material grueso, ídem., solamente arenoso, parte fina en lecho menor cerca del sector cubierto por las aguas. Además, hay curvas de los siguientes detalles de un lente de lecho mayor periódico a partir del segundo microcantilado alejándose del lecho menor (ver mapa y corte topográfico en el caso del estero de Batuco): lenticillo de selección areno-sabulosa (parte gruesa), ídem. (parte fina), lente de selección con gravas y gravillas (matriz fina). Existe

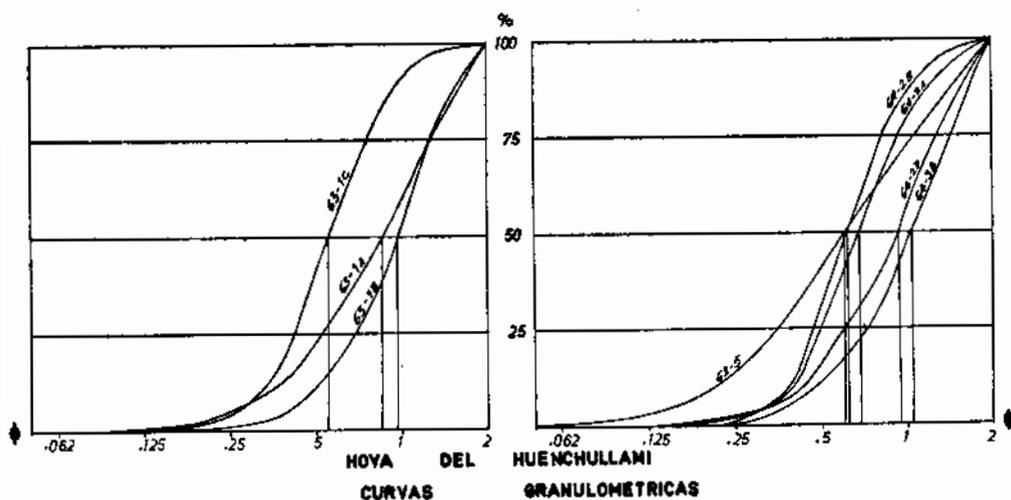


Fig. 4

también una curva de la parte gravosa del lecho mayor episódico y otra de aguas arriba en un sector en que la caja del río es muy estrecha y con paredes abruptas y altas, no pudiéndose por lo tanto hacer distinción entre los lechos mayores por la microforma y disposición del lecho (los rodados están entremezclados con las arenas).

Como por ahora nos interesa el lecho episódico, tomaremos las curvas 64-3B y 63-1C. Ellas obedecen a las dos familias de curvas que se presentan en los diferentes tipos del lecho. 64-3B afecta la forma *parabólica* y 63-1C, la forma de *S*. Esta diferencia, en la que insiste *Tricart* (1959) en sus trabajos sobre dinámica fluvial, es fundamental para la interpretación de la manera en que se efectuó el depósito: la forma parabólica indica claramente que no existe una solución marcada de continuidad entre la parte arenosa que analiza la curva y los sedimentos groseros. Existe una cantidad abundante de materiales transicionales entre las arenas y las gravas. En cambio la forma en *S* deja advertir fácilmente la solución de continuidad existente entre las arenas y lo grueso. No hay serie transicional, porque los cantos rodados no existen en ese sector. La rareza de la fracción intermedia tiene pues una explicación dinámica. La deposición se efectúa por disminución de la capacidad de transporte por la suspensión turbulenta, que lleva en este caso arena media y algo de arena gruesa preferentemente. Fuera de producirse hacia las arenas muy gruesas y la sábula, la rarefacción se encuentra también desde la arena fina hasta la serie arcillosa. Las primeras sólo se encuentran en cantidad importante en los lentes de rodados y las segundas han seguido su camino hacia el mar en el caso de limos y arcillas, o se han depositado

en orillas del resbalamiento extensas y con algunas pequeñas hondonadas arenosas favorables para el abandono de series muy finas por aguas tranquilas cuando éstas están bajando. En efecto, existe en estas situaciones geomorfológicas una capa limo-arcillosa que comprueba condiciones favorables para un depósito de aguas tranquilas. Para evitar errores de interpretación y confusiones hay que hacer notar que las muestras han sido hechas en la caja habitual del río y no en el fondo del valle, que también suele ser inundado por las aguas de mayores crecidas, depositadoras de arenas medias y finas en este sector. En los bancos que están dentro de la caja —a la altura de aguas episódicas— las arenas que yacen en la superficie de los lentes de rodados, que forman bancos homogéneos o que penetran entre aquéllos, se depositan por efecto de una disminución progresiva de la corriente durante la decrecida. La *ley logarítmica de depósito* según la curva en S se cumple para las arenas medias y gruesas y ello depende evidentemente de la posición geomorfológica de la muestra, del carácter de la crecida, etc. *Tri-cart* y sus colaboradores (1962) han encontrado que la ley logarítmica se cumple en el lecho mayor a veces dentro de límites muy estrechos (para arenas finas y medias por ejemplo) para un rango que no pasa los 200 micrones. Ello significa que el depósito de arena media y gruesa de nuestro ejemplo se efectúa en condiciones límites distintas a las que permitieron la formación de lentes de selección de rodados. Pensamos, por consiguiente, que el problema de la repartición de los rodados con respecto a las arenas en una misma posición morfológica, debe enfrentarse teniendo en cuenta la dialéctica creciente, aguas hasta los bordes y decreciente.

La curva parabólica 64-3B pertenece a un lente de rodados (matriz arenosa). El modo está dentro de la arena gruesa y muy gruesa, observándose en cambio una rarefacción a partir de la arena media, sin que exista arena fina. Se trata pues de un material muy mezclado con sábula o serie transicional hacia los rodados. Esta arena, evidentemente, convive con la fracción grosera durante el depósito permaneciendo entre los rodados. La ley logarítmica de variación de tamaño se cumple casi exclusivamente para la arena muy gruesa, lo que confirma nuestra afirmación. El ascenso constante de la curva a partir de la arena gruesa es muy claro. El material más fino es evacuado aguas abajo; razón por la cual no se halla representado. Según experiencias logradas en trabajos del Laboratorio de Geomorfología de Estrasburgo (1959) para el caso de la crecida del Guil en junio de 1957, se ha hecho una asociación entre este tipo de curvas y la influencia de obstáculos en la acumulación. Aunque ello es cierto, según se prueba en tales trabajos, los lugares de nuestros muestreos no presentan la influencia de obstáculos propiamente tales. Los lentes de rodados que contienen la arena están orientados en la dirección de la corriente y en un lugar donde los obstáculos no pueden ser sino la mayor altura del lecho y las microtopografías que lo acompañan no pudiendo asegurarse la existencia de estas últimas en el momento del depósito. Los rodados se hallan en medio de un campo arenoso y en la distribución y disposición granulométrica citada anteriormente. Presentan, por lo tanto, la evi-

dencia de ser los ejes de mayor competencia del escurrimiento cuando la onda de crecida acusa sus impactos máximos. La transmisión de la onda de crecida tiene puntos de refracción muy diferentes a las orillas de choque de las aguas bajas y medias. Ello quiere decir que la onda de crecida traslada las orillas de choque aguas arriba y a veces a la ribera opuesta, cambiando, por consecuencia, los ejes de mayor competencia, hecho que depende mucho de la curvatura de los meandros. Según estudios de *Leopold y Wolman* (1960), los sectores a canales anastomosados tienen pendientes más fuertes y granulometrías groseras, lo que se explicaría en su segunda característica con la época de las crecidas. Este dato es importante en nuestro caso, porque, como vemos en las cartas del lecho, la deposición de rodados se hace después de una angostura en el lecho mayor o un embotellamiento. Estas estrecheces causan una ruptura del equilibrio del thalweg. Entonces, aunque la superficie de los bancos elevados aparezca en la época del estiaje a contrapendiente, es evidente que se trata de un depósito que refleja por una parte el efecto del "jet" causado por la angostura y, por otra, las directrices indicadas por las ondas de crecida influidas además por la presión hidrostática ejercida en las paredes de las angosturas. Aguas abajo de éstas hay una expansión cónica o deltaica de los materiales como respuesta inmediata al anterior exceso de presión, pues al desaparecer el estado de tensión, la onda tiene un efecto de tracción que obliga a los ejes de concentración de arrastre de materiales a seguir el camino más corto depositando lentes de rodados antes que arenas. Estas últimas sólo se depositan cuando el estado de mayor turbulencia desaparece al disminuir la competencia. La forma de *lentes de selección*, como han sido definidos anteriormente los sectores de rodados se debe, según lo deja ver su repartición granulométrica, al arrastre selectivo producido cuando todavía hay turbulencia y competencia. El hecho de que los rodados se presenten en estas agrupaciones pequeñas, se debe, a nuestro modo de ver, a que los rodados mayores depositados primero sirven de obstáculo a otros más pequeños que se desplazan rodando o saltando según su naturaleza granulométrica, acompañados de las arenas más gruesas y de las sábulas. Así, gravas, gravillas, sábulas y arenas muy gruesas se depositan, ordenándose después granulométricamente por arrastre selectivo. En este caso especial la vegetación del lecho no reviste gran importancia.

Según los hechos mencionados, concluimos en que la dinámica del lecho mayor tiene directrices diferentes a las aguas medias y de lecho menor. Los ejes de mayor fuerza de las corrientes cortan parcialmente los meandros de aguas medias dentro de la caja del río, lo que es frecuente en la naturaleza, aun en distintos regímenes. Las investigaciones de *Vogt* (1962), en el Adour, por ejemplo, dejan deducir la gran importancia que tiene este factor en la evolución de los meandros. Por otra parte, insistiremos en que son las grandes crecidas de lecho mayor las que permiten el arrastre de los materiales de mayor calibre y la evolución de los lentes altos, disponiendo los materiales gruesos con respecto a los finos según las directrices que indica la onda de crecida, el estado de aguas altas y la bajada de éstas.

3. COMPORTAMIENTO DEL LECHO MAYOR PERIÓDICO.

Esta parte del lecho se ve claramente delimitada en los cortes transversales que hay junto a las cartas. El mayor microacantilado del corte sirve de pared de contención al lecho mayor y su berma superior es el límite más duradero (nivel) que alcanzan las aguas normales de lecho mayor en las crecidas invernales: su sección se traza partiendo de aquella berma, quedando calcada al bajar las aguas.

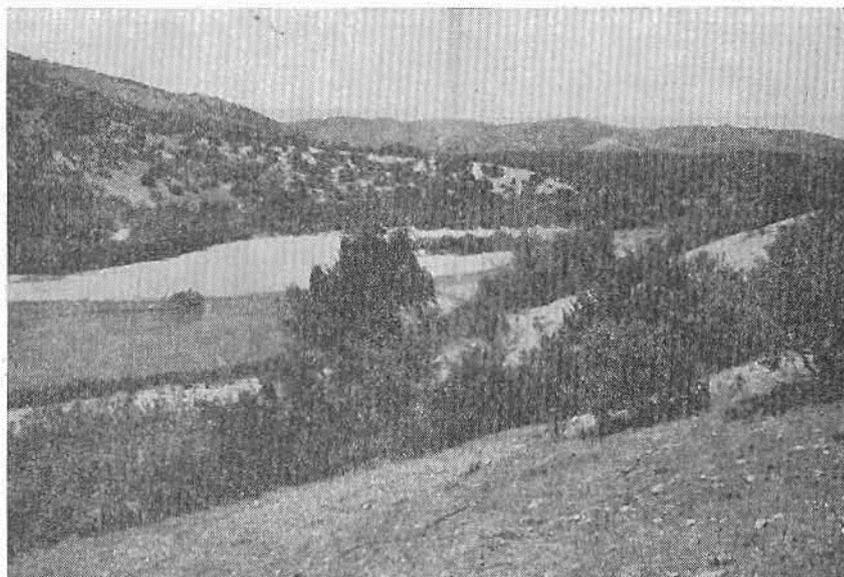
a) *Tipos de cauce.* Lo normal en el lecho periódico es el meandro de relativa curvatura, que se transforma en difluencia en la mayoría de los casos de un ensanchamiento de la caja, hecho que coincide con los meandros principales. Estas difluencias dejan las islas que son cubiertas por las aguas del lecho episódico. En general, las aguas ocupan el ancho de la caja, dejando islas y riberas muebles dispersas.

En el caso de los perfiles topográficos indicados en las cartas vemos que el lecho mayor se separa aquí perfectamente en dos brazos a diferencia del lecho episódico y del lecho periódico menor.

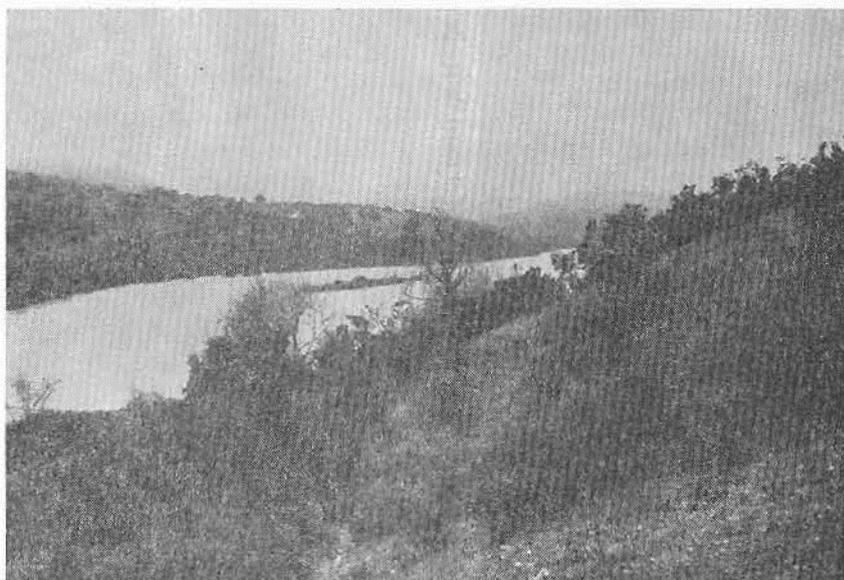
b) La disposición y la característica granulométrica de los *materiales gruesos* del lecho periódico tienen las mismas características que para el lecho episódico, abundando en los lentes groseros las gravas, las gravillas y las sábulas y, por otra parte, los lentes sábulo arenosos. Estos *lentes de selección* están dispersos y dirigidos en el sentido de las aguas altas. Lo característico es que hay mayor cantidad de rodados o de lentes de rodados en el lecho periódico.

c) *Comportamiento de las aguas frente a las arenas.* Para la interpretación de estos hechos, dirigiremos la atención a las siguientes curvas granulométricas: 64-2A, 64-2B, 64-2D, 63-1A y 62-5.

Las curvas 64-2A y 64-2B pertenecen a muestras de la parte arenosa que tiene algunos lentes con sábula (serie transicional superior a los 2 mm.). Para comprender mejor la dinámica de los lentes arenosos, se han tomado muestras de lentes areno-sabulosos, relativamente abundantes en el campo de arena, eligiendo una de la parte gruesa y otra de la fina aguas abajo. Comparando las dos curvas se advierte que ambas pertenecen al tipo S. Las dos medianas están dentro del ámbito de la arena gruesa, siendo la primera más gruesa que la segunda, lo que es natural dada su extracción morfológica. Los modos están también dentro de la arena gruesa y es muy poco lo que se puede considerar arena media. Los coeficientes de *Trask* nos dan material bien seleccionado y clasificado, tendiendo ello hacia las series gruesas (arena gruesa). Sin embargo, estas deducciones puramente estadísticas no son suficientes para ver el significado dinámico de cada una de las muestras. Las diferencias esenciales de estas arenas desde el punto de vista que nos interesa son dos: la diferencia granulométrica que presentan dentro de las arenas gruesas y el grado de relación con respecto a las series transicionales (sábula en este caso). Mientras la curva tomada de la parte puramente arenosa presenta solución de continuidad hacia series superiores, la curva de la parte sabulosa casi

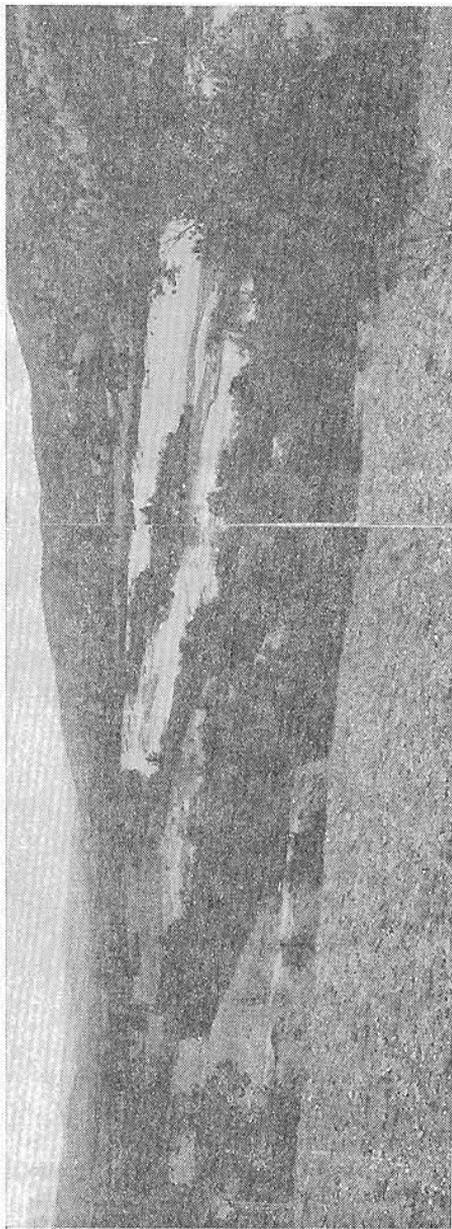


Fotogr. 1. Época del estiaje. La parte más oscura del lecho arenoso pertenece al lecho menor, dentro del cual discurre el canal de estiaje rodeado de arenas húmedas debido a las diferencias de caudal bajo en esta época.

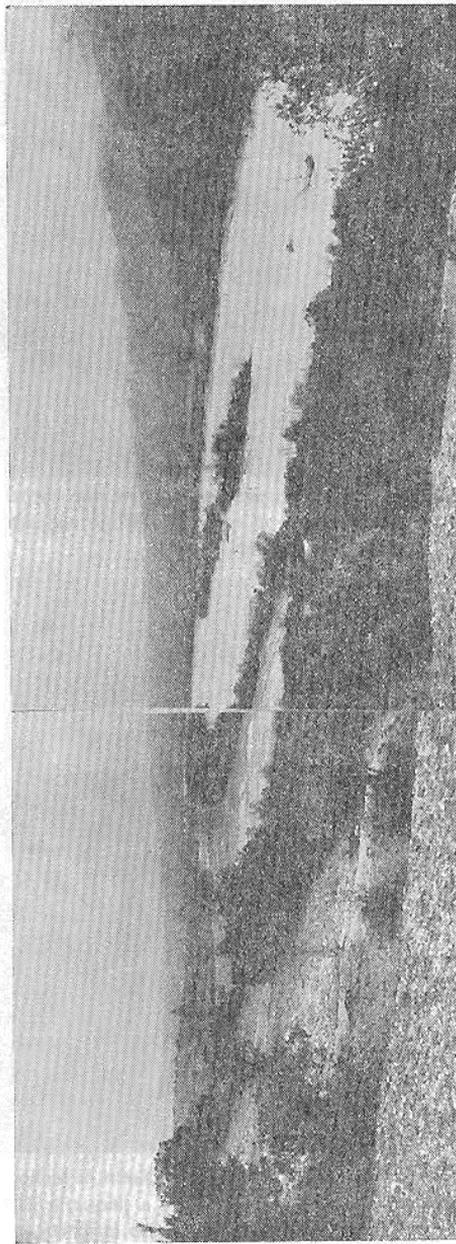


Fotogr. 2. Momento de ejarbe: Todo el lecho episódico está cubierto por el agua y el meandro prácticamente está encajonado. La pequeña isla, que más bien es vegetación aflorante, está ubicada en una orilla de resbalamiento cubierta por las aguas. A ambos lados de ella hay centros de alta velocidad y competencia, porque el meandro de aguas medias, indicado por la arena húmeda oscura, fue cortado por las aguas altas periódicas en parte. Más allá de la isla hay, pues, un centro secundario de alta competencia que es acusado en verano por los lentes de rodados (fotos del autor).

Fotos tomadas en el estero de Coipué (Hoya del Huenchullami), cuyas características son iguales a las de los esteros Batuco y Pantanillos.



Fotogr. 3 Momento del estiaje en enero. Las aguas ocupan el canal de sequía y se encauzan en meandros bien curvados y canales anastomosados.



Fotogr. 4. Momento del ejarbe en julio. Las aguas ocupan todo el lecho mayor periódico. Los meandros son muy poco curvados. Hay canal unificado y grandes difluencias. Fotos del autor.

no la presenta. Sólo en 64-2A hay convivencia franca con las sábulas, o sea, arena mezclada.

Ello demuestra que aun curvas muy parecidas pueden reflejar situaciones diferentes que se pueden interpretar como tales sólo conociendo el lugar de extracción de la muestra. El depósito areno-sabuloso tiene un 14,3% de sábula y sólo un 0,3% de limo, frente a un 3,9% y un 0,3%, respectivamente, en el caso de la parte arenosa. Esto refleja un agente que prácticamente no deposita elementos inferiores a las arenas, tendiendo al contrario en cierto modo a la serie transicional y depositando así los lentes *areno-sabulosos*, interpretados por nosotros como una frenada de la corriente a distintos tiempos que escalonan también la capacidad de transporte que, como sabemos, depende del calibre de los materiales. La posibilidad de que estos lentes sean simultáneos o posteriores a los gravosos depende del lugar en que se hallen con respecto a los ejes de más potente arrastre. Su existencia está muy relacionada con el transporte en suspensión turbulenta para las arenas y de ello se desprende que se trate de cambios importantes de la capacidad de transporte para arenas y sábulas. El paso posterior a la caída definitiva de las últimas será la natural tendencia del arrastre selectivo.

Las curvas 63-1A y 64-2D pertenecen a arenas que conviven con rodados. 63-1A proviene de un punto muy cercano al lecho menor y donde existen lentes de selección en una sección del lecho más o menos estrecha. Su mediana está dentro de la arena gruesa, repartiéndose el modo entre esta última y la arena muy gruesa. Los coeficientes de *Trask* indican para ella una clasificación o selección apenas buena (casi fuera de los márgenes) y un modo ubicado dentro de las series más gruesas. Hay continuidad franca del depósito hacia los sedimentos gruesos según lo muestra la parte superior de la curva y tal como lo ratifica el gran porcentaje de elementos superiores a la arena muy gruesa encontrados en el punto de muestreo (30,7%) entre gravas, gravillas y sábulas, frente a sólo un 0,5% de limo. Estas características son también válidas para la muestra 64-2D en términos generales, puesto que ésta está tomada en una posición morfológica comparable en cuanto a su similitud. Ello muestra la importancia de la elección cuidadosa de los lugares de muestreo. El papel que el agua tenga con respecto a las arenas reflejará siempre los mismos resultados estadísticos dentro de ciertos márgenes. Las variantes pequeñas dejarán de tener importancia cuando reflejen un mismo fenómeno, siempre que en todas sus partes las curvas sean similares.

Todas las curvas que se han mostrado pertenecen a ubicaciones morfológicas bien establecidas del lecho mayor, que pueden ser diferenciadas cuando la caja tiene una amplitud suficiente y puedan distinguirse bien cada una de las partes del lecho. Pero hay casos en que los diferentes tipos del lecho se confunden haciendo imposible una buena zonación. Ello ocurre en las partes estrechas, donde la onda de crecida causa una tensión que se traduce en una violenta subida del nivel del agua. Al transmitirse la onda aguas abajo la tracción continúa su arrastre de aluviones los mayores de los cuales deben depositarse al disminuirse la pendiente, paralelamente con una expansión de las aguas. Debido a ello hay

un arrastre evidente de materiales de partes estrechas durante las crecidas. La deposición se efectúa al bajar las aguas y disminuir su capacidad de transporte, pero con la particularidad de que las estrecheces provocan confusión entre las paredes de la caja fluvial y el fondo del lecho en lo referente a las líneas de más alta competencia del escurrimiento. Se promueve así un depósito más caótico y que tiende a ser paralelo en un espacio y en el tiempo.

Esta explicación se ha deducido tanto de la manera en que está dispuesto el depósito en la estrechez como del análisis granulométrico de la fracción arenosa. En realidad las arenas están mezcladas con algunos rodados en un piso más o menos homogéneo del fondo del lecho. La curva 62-5 tiene su mediana dentro de la arena gruesa. Los coeficientes de *Trask* indican una selección insuficiente del material, encontrándose el modo levemente más abajo de la mediana y ubicado entre las arenas medias superiores y las arenas gruesas inferiores. La escasa selección de estas arenas demuestra lo dicho anteriormente. En el depósito hay convivencia de toda una gama granulométrica debido a que en todo el fondo del lecho actúan turbulencias importantes repentinamente frenadas cuando dejan de transmitirse las ondas de crecida. En el depósito coexiste con las arenas un 35,2% de sábanas y gravas y un 2,4% de limo-arcilla, lo que demuestra y explica que la curva indique una discontinuidad hacia lo fino y una tendencia hacia lo grueso. Lo novedoso es que el modo tienda más a la arena media que a la gruesa y ello nos ayuda a comprender la heterogeneidad granulométrica del depósito.

CONCLUSIONES.

Las características dinámicas del lecho mayor periódico no pueden diferenciarse fundamentalmente de las del caso anterior. Lo más importante es que la diferencia, en cuanto a la época de funcionamiento, está en el espacio y en el tiempo. Esto significa que los *thalwegs* del lecho mayor periódico son distintos a los del lecho episódico, justificándose, por lo tanto, tipos de cauces diferentes, lo que nos obliga a pensar en un cambio de las orillas de choque, tal como lo muestra la carta. Esta indica claramente orillas de choque de lecho mayor transversales a aquellas del lecho episódico (carta del estero de los Pantanillos). Ello se ve ratificado por la comparación entre el corte transversal y la carta, lo que permite tener en cuenta el monto de las rupturas de pendiente (ver signos convencionales). Las rupturas mayores significan un estacionamiento prolongado del cauce, cuyas aguas erosionan de acuerdo con el *nivel de base*, lo que puede ser depositado en el momento de la crecida, que provoca un desequilibrio con respecto a aquél. Es por ello que los depósitos del caudal de lecho mayor episódico y los periódicos de aguas altas sirven de carga de sustitución cuando el río está dispuesto a recuperar su nivel de base local.

Pero no hay que olvidar que las aguas destinadas a amoldarse a las circunstancias del nivel de base tienen un grado de turbulencia inferior a las más altas.

Tanto su capacidad de transporte como de depósito se indica en general para arenas. Mientras el caudal es importante puede arrastrarse la suficiente cantidad de arena para que quede bien indicado el lecho mayor especialmente en las partes anchas de la caja. En el fondo, los rodados depositados por aguas más altas y turbulentas son cubiertos sistemáticamente por arenas provenientes de aguas arriba. Cuando las aguas bajan más aún sólo les quedará un poder lixivante para con las arenas más finas y los limos que están en las inmediaciones del lecho menor, lo que hace que la arena de estas partes sea frecuentemente muy gruesa. El piso de rodados, erosionado a veces de las arenas que lo cubrían por un escurrimiento persistente con variación de capacidad de arrastre por crecidas y bajadas parciales de aguas, aflora mostrando sectores con cantos rodados.

Es necesario indicar también que debido a las diferencias de cauces de las aguas altas con respecto a las aguas bajas, las primeras a veces inundan por avance lateral las orillas de resbalamiento con aguas relativamente tranquilas, depositando las fracciones más finas de las arenas. Esta inundación lateral permite, al retirarse, la deposición de limos y arcillas que quedan formando una capa superficial en algunas orillas de resbalamiento extensas y de poca pendiente. Tal es el caso excepcional en que estos ríos depositan arcillas. Las demás tienden a seguir hacia el mar como lo demuestra la escasez de la serie fina, que en general no alcanza al 1%, dentro de los depósitos de arena.

En Francia, *Tricart* y sus alumnos (1962) han levantado cartas geomorfológicas en el lecho del Gard. Allí se muestran las direcciones del escurrimiento en el lecho mayor y se explica perfectamente cómo algunos meandros son cortados cuando crecen las aguas. De una manera similar suceden los hechos en nuestro caso, teniendo en cuenta las diferencias climáticas y de régimen que puedan haber.

4. EL LECHO MENOR Y EL CANAL DE SEQUÍA.

El lecho menor es aquel ocupado por las aguas en la época del estiaje. El canal de sequía está incluido en él y es ocupado por las aguas más bajas. En nuestra carta y perfiles topográficos es fácil advertir que, debido a la larga estación estival, este canal tiende a divagar en el fondo del lecho menor.

a) *Tipos de cauce.* Varían tanto en el tiempo como en el espacio. Ello depende del caudal de las bajas aguas. En las cartas se ve que si las aguas ocuparan toda la sección del lecho menor habría un solo meandro a regular curvatura y en un canal no mucho más angosto que el del lecho mayor periódico en la mayoría de los casos, pero de aguas mucho más bajas. En cambio, en el caso del canal de estiaje prolongado, aparecen inmediatamente los meandros a mayor curvatura, las difluencias y los canales anastomosados. Ello comprueba que la dinámica del lecho menor es compleja, porque está sujeta a muchas variaciones de caudal, aun dentro de la misma estación estival. El lecho menor es indudablemente el

más usado durante el año, siendo objeto de diferentes tipos de cauce. De ahí la complejidad en la interpretación dinámica de sus sedimentos.

b) *Los sedimentos.* En general, el lecho menor es muy arenoso. En la carta se ven rodados sólo en el canal de sequía y hacia las orillas del lecho menor. Es más raro aquí ver lentes de selección de rodados propiamente tales.

La curva 63-1B, tomada en el lecho menor fuera del canal de sequía, tiene la mediana en la arena gruesa, llegando casi a la muy gruesa. El sedimento está bien clasificado y su modo se ubica en la arena gruesa superior. La curva es mixta y su interpretación es delicada, razón por la que conviene tener en cuenta que la muestra de arena posee sólo un 9,9% de fracción gruesa (sábulas y otras) y un 0,4% de serie limo-arcillosa.

Se ve entonces que esta arena no tiene una familiaridad franca con la fracción gruesa (sábulas, gravillas, gravas). Es posible que éstas aparezcan por reacomodación y erosión de los materiales depositados en aguas altas. Es sintomático el hecho de que los rodados del lecho menor estén siempre junto al microacantilado y hacia el canal de sequía (o como fondo de él). Lo primero nos lleva a pensar que se debe a la fase erosiva de las más altas aguas de lecho menor. Lo segundo, al poder lixivante y selectivo de estas mismas aguas aun en la época de bajada de ellas hacia el canal de sequía.

El carácter mixto de la curva granulométrica puede interpretarse como el producto de una reacomodación de materiales derivados de crecidas de lecho mayor. Los rodados así depositados son lavados en el fondo y aun socavados en las riberas de lecho menor hasta los bordes. No hay necesidad de que haya transporte de rodados, lo que no está al alcance de la competencia de aguas de lecho menor. Lo que ocurre, eso sí, es un verdadero arrastre selectivo de arenas y depósito de otras que vienen de más arriba (al bajar las aguas). Esta interpretación tiende a explicar la complejidad de la curva granulométrica, por cuanto las arenas con sábula depositadas junto con los rodados durante la crecida de lecho mayor tienden a continuar junto a éstos en las aguas bajas por razones de arrastre selectivo. A ello se agregan las arenas dejadas por aguas medias y bajas al disminuir todavía más la corriente hacia el estiaje. En consecuencia, la complejidad de la curva puede atribuirse a características dinámicas consecutivas.

5. CONCLUSIONES DERIVADAS DEL ESTUDIO DE LOS LECHOS.

a) No es adecuado usar siempre la tradicional separación entre lecho mayor y lecho menor de los ríos con estiaje prolongado y ejarbe intermitente. El fenómeno es muy complicado y su aproximada comprensión tiene repercusiones decisivas en el descubrimiento del verdadero papel dinámico de las aguas.

b) El recuento de las microformas nos muestra incuestionablemente el verdadero papel de cada una de las partes del lecho.

c) La disposición planimétrica de los rodados y *psamitas* nos permite saber la

dirección de cada una de las etapas de crecida o bajada de las aguas. Ello es claro en clima con largos estiajes y ejarbes intermitentes de invierno.

d) La micromorfología de un lecho refleja fielmente el hecho de que las microformas significan las sucesivas etapas de ocupación de las aguas altas y bajas.

e) La única manera de reconstituir con veracidad esta dialéctica sedimentodinámica fluvial, es con una cartografía detallada de los sectores-muestras y un estudio acucioso de los sedimentos.

f) En los ríos de la Cordillera de la Costa de Chile Central las características de los sedimentos en cuanto a su granulometría reflejan diferencia de dinámica en el tiempo y en el espacio no contempladas adecuadamente en los esquemas tradicionales.

g) La erosión de las márgenes de los lechos debe ser diferencial en el tiempo y en el espacio. Las orillas de choque y resbalamiento cambian durante el año sin desmedrar su evolución secular.

h) Es simplista la calificación de un thalweg en un lecho fluvial, sobre todo teniendo en cuenta los factores de nuestro ejemplo, porque existen diferentes thalwegs que turnan su funcionamiento en el espacio y en el tiempo, cambiando aun su posición, ya sea en el ciclo anual o bien en períodos más largos, pero en general menores a los de evolución de los meandros.

i) El transporte de las diferentes series granulométricas es estacional e intermitente y se efectúa a distintas velocidades. Los sedimentos avanzan prácticamente en los ejarbes intermitentes de invierno y en turnos sucesivos, según su granulometría, según se trate de creciente o vaciante de las aguas. Son, pues, las pulsaciones invernales las que en impactos sucesivos van trabajando los lechos móviles durante ejarbes importantes, cuya acción puede acarrear arenas y rodados por cierta distancia, que no hemos llegado a medir. La serie arcillosa es la que con toda seguridad llega al mar durante un invierno.

j) Las arenas de la terraza que constituye el fondo de valle son, a veces, objeto de orilla de choque y tomadas por el río como carga de substitución.

k) Las experiencias mostradas por *Leopold* y *Wolman* (1960) indican que la distribución de velocidades en la sección transversal de un río depende del ancho del cauce y de la repartición de las partes más profundas, haciéndose posible más de un centro de alta velocidad en meandros anchos y uno sólo en partes estrechas. Ello se comprueba en la micromorfología y granulometría de nuestros lechos. Los mismos autores nombrados (1957) habían antes llamado la atención en la periodicidad anual del agua hasta los bordes en la caja de un río. *Wolman* ha mostrado en un estudio en realización (1959), que es posible correlacionar el período de lluvia con la erosión de los bancos fluviales, teniendo en cuenta no sólo la descarga, sino también la humefacción en el banco. De ahí que en nuestro caso la intensidad de las lluvias tenga un papel importante en la saturación antes de producirse la mayor descarga, y durante ésta, para saturar además con las altas aguas los bordes de la caja, que evoluciona mediante este mecanismo (en forma intermitente).

l) Finalmente, el hecho de estudiar la morfología y levantar cartográficamente lechos pequeños, tiene la ventaja de poder obtener un modelo reducido natural para casos de mayor envergadura, lo que permite comprender la dinámica de ríos mayores, siempre que estén en condiciones naturales semejantes.

APENDICES

A. PORCENTAJES GRANULOMÉTRICOS GLOBALES EN LENTES DE SELECCIÓN DEL LECHO MAYOR.

	<i>Ripio grueso</i>	<i>Ripio fino</i>	<i>Grava</i>
Est. de Batuco	2	25	73
Est. de Los Pantanillos	0	13	87

B. MEDIANAS GRANULOMÉTRICAS DE LOS RODADOS SEGÚN SU NATURALEZA PETROGRÁFICA EN MILÍMETROS.

	<i>Cuarcita</i>	<i>Andesitas cajés alte- radas</i>	<i>Dioritas</i>	<i>Volcanitas oscuras</i>	<i>Gneiss</i>	<i>Esquistos</i>
Batuco	50	46	57	48	—	—
Pantanillos	37	—	31	40	41	45

C. RAZÓN RIPIO/GRAVA SEGÚN EL PESO DE LOS RODADOS EN EL LECHO MAYOR.

	<i>Cuarcita</i>	<i>Andesita</i>	<i>Diorita</i>	<i>Volc. osc.</i>	<i>Gneiss</i>	<i>Esquistos</i>
Batuco	—	1/8,6	1/5,6	1/10	—	—
Pantanillos	1/11,6	—	1/8,3	1/6,6	s. gravas	1/32,2

Esta relación proporciona una idea del comportamiento diferencial de rípios y gravas de acuerdo con el arrastre selectivo y la deposición. Sabemos así la cantidad de gravas necesarias para completar el peso de un ripio en término medio. Esta razón es en general distinta a la que se consigue teniendo sólo en cuenta el número de individuos de cada caso en el depósito.

D. ÍNDICES DE APLANAMIENTO SEGÚN LA NATURALEZA PETROGRÁFICA EN EL LECHO MAYOR.

	<i>Cuarcita</i>	<i>Andesita</i>	<i>Diorita</i>	<i>Volc. osc.</i>	<i>Gneiss</i>	<i>Esquistos</i>
Batuco	—	1,81	1,76	1,77	—	—
Pantanillos	1,71	—	1,45	1,80	1,84	1,88

Comparando estos índices con los de otras partes de la misma red hidrográfica se constata que los aplanamientos no progresan con el desgaste.

E. ÍNDICES DE DESGASTES SEGÚN LA NATURALEZA PETROGRÁFICA EN EL LECHO MAYOR.

	<i>Cuarcita</i>	<i>Andesita</i>	<i>Diorita</i>	<i>Volc. osc.</i>	<i>Gneiss</i>	<i>Esquistos</i>
Batuco	—	.283	.263	.231	—	—
Pantaniillos	.216	—	.432	.286	.334	.290

F. DATOS NUMÉRICOS SOBRE LAS ARENAS:

<i>Nº muestra</i>	<i>Mediana en mm</i>	<i>Coef. selección</i>	<i>Coef. simetría</i>	<i>% sábula gravilla</i>	<i>% limo arcilla</i>
63-1A	.850	2,41	0,94	30,7	0,3
63-1B	.970	1,85	0,94	9,9	0,4
63-1C	.560	1,81	1,04	0,4	0,6
64-2A	.685	1,86	0,99	14,3	0,3
64-2B	.630	1,76	0,98	3,9	0,3
64-2D	.940	2,16	0,96	26,0	0,8
64-3B	1.050	1,97	0,95	21,3	0,4
62-5	.615	2,97	1,01	35,2	2,4

G. TERMINOLOGÍA GRANULOMÉTRICA USADA POR EL LABORATORIO DE GEOMORFOLOGÍA, DE ACUERDO CON LA CLASIFICACIÓN DE WENTWORTH.

<i>Diámetro</i>	<i>Inglés</i>	<i>Castellano</i>
sobre 256 mm	boulders	bloques
256 - 64 "	cobbles	ripios
64 - 16 "	pebbles	gravas
16 - 4 "	-----?	gravillas
4 - 2 "	granules	sábulas

B I B L I O G R A F I A

Leopold L. B. and Wolman M. G. (1960): River Meanders. *Bull. Geol. Soc. of Am.* Vol. 71, june, pp. 769-794.

Tricart, Jean (1959): Etude granulométrique de la fraction sableuse des alluvions de la crue de juin sur le Guil (Hautes-Alpes, 1957) Extrait du *Bull. Soc. Géol. de France*, 7e série, tome 1, pp. 614-624.

- Tricart, Jean y colaboradores (1962): Etude morpho-dynamique du bassin du Gard. *Extrait Bull. de la Section de Géographie*. Min. Ed. Nat. t. LXXIV, 1961, pp. 141-316.
- Vogt, Henri (1962): Erosions latérales et changements de cours de l'Adour moyen. *Extrait du Bull. de la Soc. de Borda s/r.*, pp. 91-102.
- Wolman, M. G. (1959): Factors influencing erosion of a cohesive river bank *Am. Journ. of Science*. v. 257. pp. 204-216.