

ESTUDIOS LIMNOLOGICOS EN UNA SECCION TRANSVERSAL DEL TRAMO MEDIO DEL RIO PARANA

II: Características y variaciones temporales de la granometría de los sedimentos suspendidos *

*Mario L. Amsler y Edmundo C. Drago ***

Instituto Nacional de Limnología
José Maciá 1933 - 3016 Santo Tomé
Santa Fe - Argentina

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio de las características y variaciones de la granometría de los sedimentos suspendidos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná.

La mayor proporción de los diámetros medios de las distribuciones analizadas, se halla comprendida dentro de los rangos de los limos finos y muy finos, indicando que la carga de lavado (constituida por partículas menores de $31 \mu\text{m}$ para el perfil investigado) es preponderante en el sedimento suspendido transportado por el río en esta sección. Cuando pasaron por la zona los picos de concentración provenientes del río Bermejo, con altos porcentajes de arcilla, se detectaron los diámetros medios más pequeños y las mejores selecciones. Durante el resto del período examinado, el material transportado en suspensión fue pobremente seleccionado, desplazándose los diámetros medios hacia el rango de los limos finos. En circunstancias especiales, con altos caudales y bajas cargas de lavado, se registraron los máximos diámetros medios y las más pobres selecciones debido al incremento en la proporción de la fracción gruesa en suspensión.

* Trabajo presentado en una Reunión Científica Especial organizada por la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral, Santa Fe, abril de 1983.

** Miembros de la Carrera del Investigador del CONICET.

ABSTRACT

Amsler, M. L. y Drago, E. C. 1984. Limnological studies in a cross-section of the Middle reach of Paraná River, II: Characteristics and temporal variations of suspended sediment granulometry. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15:7 - 21

This paper deals with the granulometric characteristics and variation of suspended sediment at a cross-section of the middle reach of the Paraná River.

The frequency distributions of the mean diameters ranged between fine and very fine silts suggesting that suspended sediments are composed largely of wash load (in this case, particles finer than 31 μm). The concentration of particles peaked when the Bermejo River contributed its load with high percentages of clay size particles. During such times, the smallest mean diameters and the best sorting were detected. The rest of the time suspended loads were characterized by poorly sorted suspended materials and higher mean diameters within the fine silts range. Maximum mean diameters and the worst sorting were observed during special events: the highest discharges and low wash loads. It was attributed to an increase of the coarse suspended fractions.

INTRODUCCION

La información sobre la granometría del sedimento suspendido constituye un aspecto fundamental en el conocimiento de los procesos de erosión, transporte y depositación que operan en una corriente fluvial. Estos datos son esenciales cuando se encaran estudios vinculados tanto a problemas de ingeniería fluvial (colmatación de cauces y embalses, erosión de lechos y riberas, desgaste de álabes de turbinas en centrales hidroeléctricas, etc.), como a problemas relacionados con la ecología de estos sistemas (relación con la flora y fauna acuática, sorción de constituyentes disueltos y materiales radioactivos, tratamiento de aguas, etc.).

El Instituto Nacional de Limnología (INALI, CONICET) tiene en desarrollo el plan "Estudios limnológicos en el cauce principal del río Paraná Medio - Plan Perfil Toma de Aguas Corrientes (Paraná - Entre Ríos)", siendo uno de los objetivos el conocimiento de las variaciones de sus parámetros físicos. Los trabajos, llevados a cabo durante cinco años (1976-1981) en una sección transversal del río, aportaron un importante volumen de información sobre la granometría de los sedimentos suspendidos, utilizado en este trabajo con la finalidad de analizar sus características y variaciones durante los distintos estados hidrométricos de la corriente.

Se estima que los resultados obtenidos pueden ser empleados como punto de partida para futuras investigaciones y proyectos, dada la escasa información de este tipo existente en este tramo del río Paraná.

MATERIAL Y METODOS

Las muestras se obtuvieron desde octubre de 1976 a diciembre de 1977 en la sección transversal escogida⁶, con una frecuencia quincenal. Se utilizó un captador continuo (por bombeo) en tres verticales: dos sobre ambas riberas y la restante en el centro del cauce. En las primeras se consideraron dos puntos de muestreo, a 0,02 y 0,95 de la profundidad total; en la central se incorporó un punto a 0,50 de la vertical. El número de muestras analizadas en el período alcanzó a 169 (71 en el centro del cauce y 49 en cada una de las riberas).

La metodología empleada en las mediciones de campo, si bien adecuada para los fines perseguidos en el plan, no cumplió con algunas de las normas clásicas que indica la práctica sedimentológica², debido a que en ese momento no se contaba con el instrumental apto para tal propósito. En efecto, no se registraron velocidades de corriente en profundidad, por lo cual no fue posible regular adecuadamente la velocidad de aspiración del captador continuo en relación a la del correspondiente filete de agua.

Las muestras de agua, con volúmenes que variaron entre 2 y 2,5 litros cada una, fueron recogidas en bidones de plástico directamente de la manguera del captador, trasladadas en el día al laboratorio y analizadas de inmediato o almacenadas en heladera y tratadas al día siguiente.

Las distribuciones granométricas se obtuvieron aplicando el método del tubo de extracción de fondo^{12, 15}. Para ello se concentraron previamente las muestras empleando filtros de vidrio poroso con capacidad de retención de partículas mayores de $1 \mu\text{m}$. El producto de la concentración se vertió dentro del tubo y se enrasó con agua destilada, sin dispersante, no observándose la formación de agregados en el material suspendido.

Los análisis permitieron determinar las distribuciones para un rango de tamaños comprendido entre $62,5 \mu\text{m}$ ($\phi 4$) y $3,9 \mu\text{m}$ ($\phi 8$), divididos en intervalos de clase cada medio grado phi ($\phi 0,5$), siguiendo la escala de Wentworth²¹.

Con las frecuencias en porcentajes para cada tamaño se calcularon los diámetros medios y desvíos estándar para cada una de las distribuciones, empleando el método de los momentos. Para su aplicación se adoptó el procedimiento aconsejado por Seward-Thompson y Hails¹⁹, basado en la integración directa de una aproximación lineal de la curva de frecuencias acumuladas.

Debe destacarse que para la aplicación del programa de computación correspondiente fue necesario considerar todo el material menor de $\phi 8$ ($3,9 \mu\text{m}$) como concentrado en el intervalo $\phi 8 - \phi 8,5$ ($2,8 \mu\text{m}$) y el material mayor de $\phi 4$ ($62,5 \mu\text{m}$) como concentrado en el intervalo $\phi 3,5$ ($88,4 \mu\text{m}$) - $\phi 4$. Los porcentajes del material más fino de $\phi 8$ fueron elevados, por lo que los valores de los momentos más altos (asimetría y curtosis) no se consideraron, dada la distorsión en sus valores que ocasiona este hecho¹⁶.

Determinación de la carga de lavado

Se reconoce que los sedimentos suspendidos fluviales están constituidos por dos clases de partículas cuyo transporte está determinado por grupos de variables de distinta naturaleza: la fracción gruesa proveniente del lecho del cauce y la carga de lavado (sedimento fino) resultado fundamentalmente de la erosión sobre la superficie de la cuenca imbrífera^{5, 8, 11, 18}. La concentración de esta última está determinada por la cantidad aportada a la corriente y no por la capacidad de ésta para transportarla; la concentración de la fracción gruesa, en cambio, está fijada por las fuerzas hidráulicas capaces de moverla¹⁸.

En la sección transversal estudiada, se adoptó como tamaño de separación entre estos dos tipos de

materiales, al diámetro de $31\ \mu\text{m}$. Para ello, se siguió el criterio de considerar a la carga de lavado como constituida por tamaños de partículas encontrados en muy pequeñas cantidades en las zonas de movimientos activos del lecho de un curso de agua^{5, 8}. Distribuciones granométricas del material de fondo existentes para varias secciones transversales del tramo medio del río Paraná desde la confluencia con el Paraguay hasta Diamante (E. Ríos)³ y datos en el mismo perfil, obtenidos durante cinco años⁴, permitieron establecer que las fracciones menores de $31\ \mu\text{m}$ de material de lecho son despreciables, no solo a lo largo del tramo citado (cuadro 1), sino también en la misma sección. Este tamaño prácticamente coincide con el adoptado por Lelievre y Navtoft ($37\ \mu\text{m}$)¹⁷ en su trabajo realizado frente a la ciudad de Corrientes.

En cada una de las distribuciones granométricas se determinó el porcentaje de carga de lavado empleando el diámetro de separación citado ($31\ \mu\text{m}$). También se establecieron los porcentajes de arcilla (diámetros menores de $4\ \mu\text{m}$).

Los diámetros medios y desvíos estándar de todas las distribuciones se agruparon, a su vez, en intervalos de clase, calculándose las frecuencias en porcentajes de cada uno de ellos. Se obtuvieron así las distribuciones de los dos parámetros mencionados en los siguientes puntos: centro del cauce (comprende las muestras de superficie, profundidad intermedia y de fondo), superficie (comprende las muestras tomadas en superficie, en el centro y en ambas riberas) y para toda la sección (comprende todos los datos). En el cuadro 3 se presentan las frecuencias en que se han dado los diámetros medios agrupados según los rangos de la escala de Wentworth²¹.

En la fig. 2 se representaron los diámetros medios y desvíos estándar en función del tiempo, con el objeto de analizar su comportamiento durante un ciclo anual.

RESULTADOS Y DISCUSION

Al considerar los resultados, se deberá tener presente que al no haber sido posible regular la velocidad de aspiración del captador continuo en relación a la del correspondiente filete de agua, hace que los datos de la fracción arena en suspensión no sean confiables. Esto determinó que varias de las explicaciones dadas a fenómenos observados quedaran en el terreno de las hipótesis, aunque en todos los casos éstas se basan en fundamentos teóricos rigurosos del escurrimiento en cauces aluviales. De cualquier modo, se considera que los diámetros promedio de las distribuciones granométricas utilizados, se aproximan a los reales debido a los pequeños porcentajes de la fracción gruesa en suspensión comparados con los presentados por la carga de lavado en la mayor parte de los casos. En este sentido, mediciones realizadas en la zona de estudio cuidando el detalle de la velocidad de entrada del agua al muestreador, han permitido corroborar la preponderancia del sedimento fino en el material en suspensión del río Paraná¹.

1) Características de las distribuciones granométricas

En el cuadro 2 se aprecian, los diámetros medios máximos y mínimos con los correspondientes desvíos estándar y porcentajes de carga de lavado y

Cuadro 1 - Porcentajes de las fracciones encontradas para los intervalos (124-62,5 μm) más (62,50-31,2 μm) y (< 31,2 μm) en el sedimento de fondo del centro del cauce, en varias secciones a lo largo del río Paraná en su tramo medio (datos obtenidos de Bertoldi de Pomar³).

| SECCIONES | (125-62,5 μm) + (62,5-31,2 μm) | < 31,2 μm |
|----------------------------|--|----------------------|
| km 1244, Paso de la Patria | 0,80 | 0,75 |
| km 1246, río Paraguay | 1,95 | 0,90 |
| km 1208, Corrientes. | 1,15 | 1,15 |
| km 1170, isla el Sombrero | 15,05 | 0,50 |
| km 1140, Empedrado. | 2,25 | 0,45 |
| km 1060, Bella Vista | 1,70 | 0,45 |
| km 1008, Lavalle. | 0,85 | 0,65 |
| km 867, Esquina. | 0,25 | --- |
| km 745, La Paz | 2,25 | 0,60 |
| km 680, Brugo | 0,40 | 1,40 |
| km 531, Diamante | 0,75 | 0,05 |
| PROMEDIOS | 2,49 | 0,63 |

arcilla. Los valores son promedios en cada una de las verticales consideradas. Los mínimos diámetros medios se corresponden con los desvíos estándar más bajos y con los máximos porcentajes de carga de lavado y arcilla y viceversa. Es de destacar asimismo, que aun en los casos de porcentajes de carga de lavado más bajos, este tipo de material es preponderante en el sedimento suspendido transportado.

Las diámetros medios más frecuentes (cuadro 3) aparecen en los intervalos correspondientes a limos finos y muy finos. En lo que se refiere al material en suspensión más grueso (16-31 μm) existe una tendencia marcada a que se transporte por el centro del cauce hacia ribera derecha y en profundidad. Este hecho podría vincularse con la distribución de los caudales en la sección:

| Verticales | Porcentaje del caudal total transportado |
|------------------|--|
| Ribera izquierda | 8,2% |
| Centro del cauce | 55,8% |
| Ribera derecha | 36,0% |

Cuadro 2 - Porcentajes máximos y mínimos de la carga de lavado y de la fracción arcilla; diámetros medios y desvíos estándar promediados en las verticales muestreadas en el perfil investigado.

| Fecha | R I B E R A | | | I Z Q U I E R D A | | | C E N T R O D E L C A U C E | | | R I B E R A | | | D E R E C H A | | |
|-----------|---------------------------|-----------------|---|---------------------------|-----------------|--|-----------------------------|-----------------|--|---------------------------|-----------------|---|---------------------------|-----------------|--|
| | Diámetro medio (μ m) | Desvío Estándar | Porcentaje promedio de carga de lavado. | Diámetro medio (μ m) | Desvío Estándar | Porcentaje promedio de carga de la arcilla | Diámetro medio (μ m) | Desvío Estándar | Porcentaje promedio de carga de la arcilla | Diámetro medio (μ m) | Desvío Estándar | Porcentaje promedio de carga de lavado. | Diámetro medio (μ m) | Desvío Estándar | Porcentaje promedio de carga de la arcilla |
| 28/OCT/76 | 15 | 1,81 | 63 | 16 | 1,62 | 66 | 15 | 1,35 | 22 | 15 | 1,35 | 83 | 15 | 1,35 | 15 |
| 27/ENE/77 | 8 | 1,53 | 84 | 12 | 1,70 | 73 | 14 | 1,61 | 36 | 14 | 1,61 | 70 | 14 | 1,61 | 33 |
| 01/MAR/77 | 10 | 1,79 | 73 | 14 | 1,74 | 66 | 13 | 1,78 | 31 | 13 | 1,78 | 64 | 13 | 1,78 | 36 |
| 28/MAR/77 | 5 | 1,02 | 97 | 6 | 1,06 | 97 | 55 | 7 | 1,30 | 55 | 7 | 1,30 | 90 | 7 | 1,30 |
| 13/ABR/77 | 6 | 1,06 | 97 | 7 | 1,26 | 93 | 51 | 6 | 1,12 | 51 | 6 | 1,12 | 97 | 6 | 1,12 |
| 25/ABR/77 | 6 | 1,15 | 95 | 7 | 1,30 | 92 | 51 | 7 | 1,41 | 51 | 7 | 1,41 | 88 | 7 | 1,41 |
| 09/MAY/77 | 6 | 1,19 | 95 | 7 | 1,33 | 92 | 49 | 6 | 1,31 | 49 | 6 | 1,31 | 92 | 6 | 1,31 |
| 23/MAY/77 | 6 | 1,13 | 96 | 7 | 1,27 | 94 | 47 | 6 | 1,15 | 47 | 6 | 1,15 | 95 | 6 | 1,15 |
| 06/JUN/77 | 7 | 1,23 | 94 | 7 | 1,31 | 92 | 47 | 6 | 1,04 | 47 | 6 | 1,04 | 98 | 6 | 1,04 |
| 25/JUL/77 | 10 | 1,50 | 83 | 12 | 1,52 | 77 | 31 | 12 | 1,62 | 31 | 12 | 1,62 | 74 | 12 | 1,62 |
| 08/AGO/77 | 10 | 1,50 | 83 | 14 | 1,52 | 73 | 23 | 14 | 1,58 | 23 | 14 | 1,58 | 72 | 14 | 1,58 |
| 31/OCT/77 | 11 | 1,54 | 77 | 15 | 1,58 | 67 | 22 | 15 | 1,64 | 22 | 15 | 1,64 | 64 | 15 | 1,64 |
| 14/NOV/77 | 15 | 1,41 | 73 | 11 | 1,47 | 81 | 26 | 8 | 1,37 | 26 | 8 | 1,37 | 88 | 8 | 1,37 |

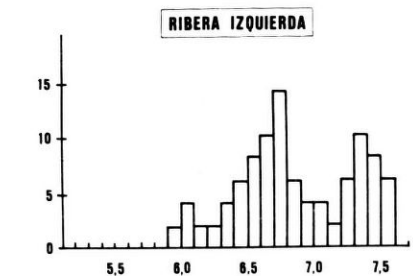
Cuadro 3 - Frecuencias en porcentajes de los diámetros medios y valores modales de las distribuciones en ambas riberas, centro del cauce, superficie, profundidad y para toda la sección.

| | Limo medio (16-31 μm) | Limo fino (8-16 μm) | Limo muy fino (4 - 8 μm) | Moda/s principales (μm) |
|------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------------------|
| RIBERA IZQUIERDA | 2 % | 61,3 % | 36,7 % | 9,3 |
| CENTRO DEL CAUCE | 9,7 % | 63,5 % | 26,8 % | 13,1 |
| RIBERA DERECHA | 4 % | 57,2 % | 38,8 % | 12,3 |
| SUPERFICIE | 4,2 % | 58 % | 37,8 % | 9,3 8,1 7,04 |
| PROFUNDIDAD | 8,4 % | 61 % | 30,6 % | 12,3 |
| SECCION | 6 % | 60,8 % | 33,2 % | 12,3 |

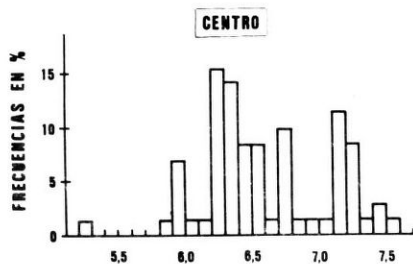
Estos valores revelan que entre el centro y ribera derecha se transporta el 91,8% del volumen líquido total que pasa por la sección. Esta situación implicaría mayores velocidades de la corriente y por ende mayor potencia disponible para poner en suspensión partículas gruesas provenientes del fondo del cauce, lo que elevaría las medias de las distribuciones granométricas del sedimento en suspensión.

En el caso del material más fino (4-16 μm), las diferencias en los porcentajes son pequeñas, lo que indicaría una distribución bastante uniforme de este tipo de material suspendido en la sección estudiada. Las distribuciones de las medias fueron en general irregulares o polimodales, con una moda preponderante en el rango de los limos finos y otra secundaria en el de los limos muy finos (fig. 1). Aplicando a ambas modas el *test* basado en la transformación \arcsen ²⁰ destinado a comprobar la diferencia entre dos porcentajes, se estableció que no existe una diferencia marcada entre ellas. En el caso de ribera derecha, p.ej. las dos modas son estadísticamente iguales.

En el cuadro 4 se observan las frecuencias de las selecciones (desvíos estándar), agrupadas de acuerdo a la clasificación de Folk y Ward⁹. Prácticamente el 100% de las muestras cae dentro del rango de los sedimentos pobremente seleccionados. Este hecho coincide con lo afirmado por otros autores¹³, en cuanto a la tendencia de los sedimentos suspendidos más finos a estar pobremente seleccionados.



.



.

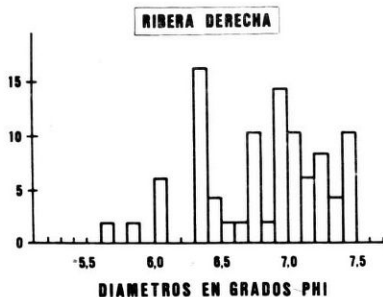


Fig. 1 - Distribuciones de los diámetros medios en ambas riberas y en el centro del cauce.

Cuadro 4 - Frecuencias en porcentajes de los desvíos estándar y valores modales de sus distribuciones en ambas riberas, centro del cauce, superficie, profundidad y para toda la sección.

| | Moderadamente seleccionado ($\sigma < 1$) | Pobrementemente seleccionado ($1 < \sigma < 2$) | Moda |
|------------------|---|---|------|
| RIBERA IZQUIERDA | 4,1 % | 95,9 % | 1,55 |
| CENTRO DEL CAUCE | 1,4 % | 98,6 % | 1,55 |
| RIBERA DERECHA | -- | 100 % | 1,45 |
| SUPERFICIE | -- | 100 % | 1,50 |
| PROFUNDIDAD | 2,8 % | 97,2 % | 1,45 |
| SECCION | 1,8 % | 98,2 % | 1,50 |

2) Variación de los diámetros medios y desvíos estándar durante un ciclo anual.

Se advierte (fig. 2) que en el período que va desde la segunda quincena de marzo de 1977 hasta la primera mitad de junio del mismo año, se registran los diámetros medios más pequeños. Los valores del desvío, para el mismo lapso, son los más bajos de todo el ciclo. Es decir, que en la misma época, se transporta el sedimento suspendido más fino y mejor seleccionado.

Respecto a los diámetros medios más elevados, los diagramas muestran varios máximos significativos: 28/10/76; 27/01/77; 1/03/77; 25/07/77; 8/08/77 y 31/10/77. Paralelamente, en estas fechas, se dieron los mayores desvíos de todas las distribuciones analizadas. En otras palabras, el sedimento suspendido más grueso transportado es, a la vez, el peor seleccionado.

Los diámetros más finos se corresponden con los máximos porcentajes de carga de lavado y de arcilla y viceversa (cuadro 2). A su vez puede establecerse la misma correspondencia con respecto a los desvíos estándar.

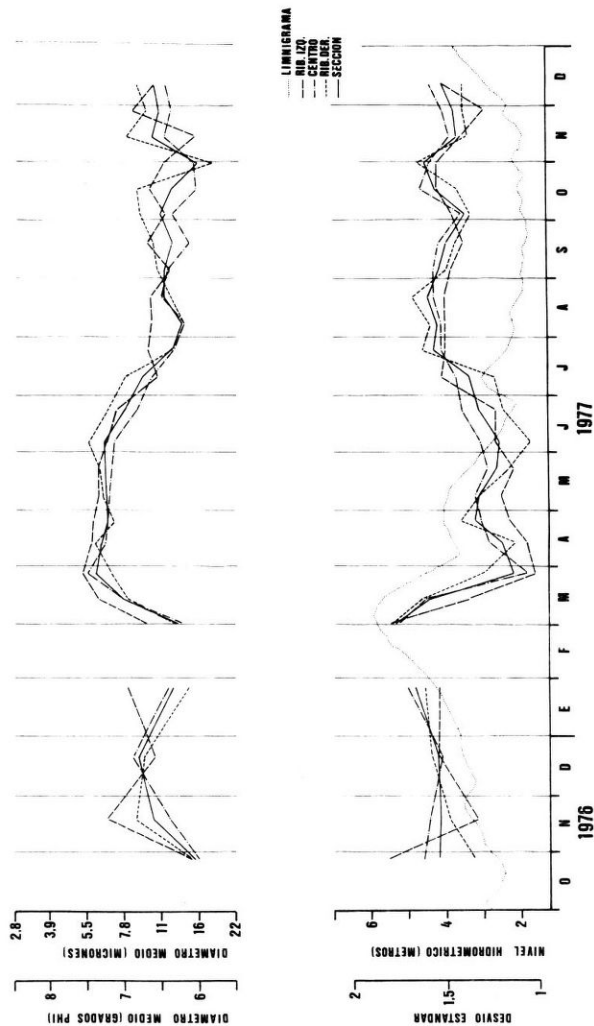


Fig. 2 - Variaciones de los diámetros medios y desvíos estándar (selecciones) a lo largo del período estudiado en ambas riberas, centro del cauce y para toda la sección.

3) Gráficos paramétricos

Folk y Ward⁹, Friedman¹⁰ e Inman¹⁴ demostraron la conveniencia de vincular entre sí los parámetros estadísticos que describen las distribuciones granulométricas en los denominados gráficos paramétricos o diagramas de dispersión de los parámetros. Folk y Ward⁹ en particular, al referirse a la vinculación entre diámetros medios y desvíos estándar indicaban que si se contaba con un amplio rango de tamaños de grano (de gravas hasta arcillas), las bandas de dispersión a menudo se disponían en segmentos que formaban una M ensanchada. Si el rango de diámetros disponible disminuía, los puntos no alcanzaban a formar una M completa por lo que frecuentemente la dispersión componía una V invertida e incluso, muchas veces, solo una rama de esa V. Los mínimos del gráfico o puntos de mejor selección, coinciden con las modas predominantes en el sedimento y los máximos (selección más pobre) corresponden a los diámetros medios a mitad de camino entre los tamaños modales.

Teniendo presente estos conceptos y el hecho de que el análisis realizado en el punto 2, sugiere que existe una relación entre los diámetros medios y desvíos, se graficó (fig. 3) el tamaño medio de la distribución en grados ϕ versus el desvío estándar. Se emplearon para ello todas las distribuciones disponibles agrupadas de dos formas distintas.

Se advierte (fig. 3) que los puntos se disponen formando una rama de la V invertida a la que aludían Folk y Ward⁹. Los puntos de mejor selección se dan para diámetros medios entre $\phi 7,5$ ($5,5 \mu\text{m}$) y $\phi 7,6$ ($5,2 \mu\text{m}$) y los de más pobre selección están comprendidos en el entorno de $\phi 6,1$ ($14,6 \mu\text{m}$). En este último punto se insinúa una tendencia de las selecciones a disminuir en la dirección de los diámetros más gruesos. Se deduce, de acuerdo a la disposición de los datos graficados, que en el sedimento suspendido que pasa por el perfil investigado, existe una moda de mejor selección en el rango de los limos muy finos. Esta moda empeora su selección a medida que se mezcla con porcentajes crecientes de limos finos, medios y gruesos. La tendencia decreciente que se insinúa a partir del punto de más alto desvío, podría hacer suponer que existe otra moda de mejor selección hacia el extremo de los diámetros mayores.

Folk y Ward⁹, indicaban que desde el punto de vista geológico, los extremos de mejor selección, reflejan el tamaño modal del material aportado desde el área o áreas donde se origina el sedimento y que estos valores están fuertemente afectados por las características de esas zonas. Refiriéndose a su vez, a la inclinación o pendiente de la nube de puntos, sostenían que su mag-

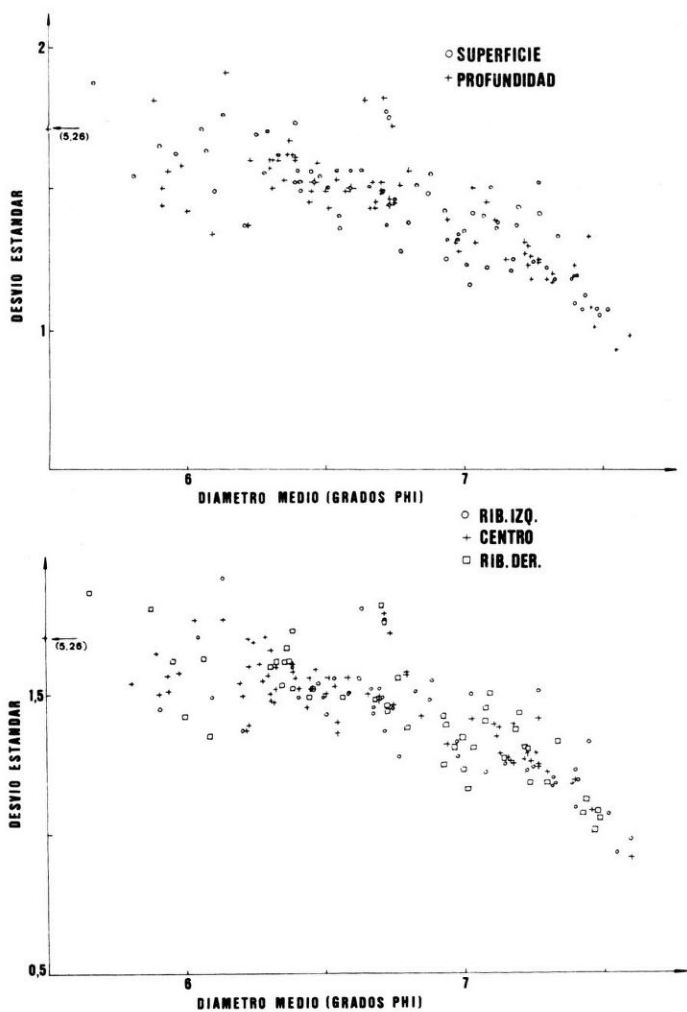


Fig. 3 - Relaciones entre los diámetros medios y desvíos estándar en superficie, profundidad, ambas riberas y centro del cauce.

nitud representa la interacción entre dos factores: a) distinción de las modas aportadas por las áreas de origen y b) eficacia del agente de transporte en realizar su propia selección sobre el material aportado a él.

Para el río Paraná en el Perfil Toma de Aguas Corrientes, se comprobó en el punto 2, que el material de mejor selección se transporta en el período que va desde la segunda quincena de marzo hasta la primera mitad de junio de 1977. En un trabajo anterior⁷, se demostró que durante estos meses pasó, por la sección citada, el pico de material sólido proveniente del río Bermejo. Es decir que los diámetros medios comprendidos en un entorno de ϕ 7,5 (5,5 μ m), en los diagramas de fig. 3, reflejarían el tamaño modal del material aportado por este último río, que estaría compuesto en gran medida por partículas inferiores a 4 μ m (ϕ 8), dado los marcados incrementos registrados, en el período mencionado, por la fracción arcilla (cuadro 2). Esta moda estaría en el límite superior de los sedimentos moderadamente seleccionados de acuerdo a la clasificación de Folk y Ward⁹. La nube de puntos restantes se dispone en su mayor parte, en un intervalo relativamente angosto de desvíos estándar (entre 1,00 y 1,70), con una inclinación o pendiente más bien baja. Este hecho podría explicarse teniendo en cuenta que, exceptuando el período anterior de aportes sólidos preponderantes del río Bermejo, el material en suspensión del río Paraná en su tramo medio es el resultado de la mezcla de sedimentos provenientes de diferentes áreas y cursos de agua: a) Río Alto Paraná, b) Río Paraguay, c) Llanura aluvial en el tramo medio y d) El propio cauce del río.

El sedimento resultante sería, por lo tanto, polimodal con todos los tamaños de grano, desde arenas finas y muy finas hasta arcillas, más o menos representados. Las distribuciones granométricas empleadas como datos se ajustan en general a estas características. La asociación entre diámetros medios y selecciones, en consecuencia, no será muy marcada.

Resumiendo, los diferentes tipos de material en suspensión que se incorporan al cauce principal del Paraná en su tramo medio, son mezclados por el río de una manera tal, que conforman un sedimento suspendido polimodal, pobremente seleccionado salvo, cuando se transportan los picos de concentraciones aportados por el río Bermejo.

CONCLUSIONES

— Los valores de los diámetros medios de las distribuciones indican que la mayor proporción del material transportado en suspensión en el perfil investigado, se engloba dentro de los rangos de limos finos, muy finos y arcillas

(< 16 μ m). Los elevados porcentajes registrados de carga de lavado y de arcilla (cuadro 2), avalan lo afirmado anteriormente.

— Las fracciones más gruesas en suspensión son transportadas entre el centro del cauce y ribera derecha, en correspondencia con la distribución de caudales en la sección, lo que determina una mayor capacidad de transporte del río por el sector mencionado.

— Los diámetros medios comprendidos en un entorno de ϕ 7,5 (5,5 μ m) reflejan el tamaño modal del material aportado por el río Bermejo, compuesto en gran medida por partículas inferiores a 4 μ m (ϕ 8), dado los marcados incrementos en la fracción arcilla detectados en el período en que pasan por la sección los picos de concentración suministrados por aquel río (segunda quincena de marzo-primer mitad de junio, 1977; cuadro 2). Es durante este evento cuando el sedimento en suspensión presenta la mejor selección.

— Exceptuado el período anterior con neta influencia del río Bermejo, el sedimento en suspensión se presenta pobremente seleccionado al ser el resultado de la mezcla del material originado en el propio cauce del río, en su llanura aluvial y en los ríos Alto Paraná y Paraguay. La moda principal en la distribución de los diámetros medios, se desplaza hacia el rango de los limos finos, indicando una granulometría más gruesa. Bajo ciertas condiciones del río, como altos caudales y bajas cargas de lavado, la incorporación de partículas gruesas del lecho a la suspensión es intensa, registrándose los máximos diámetros medios y las más pobres selecciones.

En la evaluación de estas conclusiones debe tenerse presente la limitación señalada en los datos de la fracción gruesa en suspensión. Se cree, no obstante, sobre la base de lo explicitado oportunamente, que a lo sumo podría modificarse la intensidad de alguno de los fenómenos descritos pero no el comportamiento general observado.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Hetty Bertoldi de Pomar (INALI) por la lectura del manuscrito y sus atinadas sugerencias.

REFERENCIAS

1. Amsler, M.L. 1982. Sedimentos suspendidos en ambientes del río Paraná. Segundo Informe de Beca de Perfeccionamiento. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Instituto Nacional de Limnología. Santo Tomé (Sta. Fe), Argentina (inédito).
2. Benedict, P.C. 1977. Sediment measurement techniques. A. Fluvial sediment (p. 317 - 347). En: Sedimentation Engineering (Vanoni, Ed.). Manuals and Reports on Engineering Practice N° 54. ASCE. N. York. (745 p.).

3. Bertoldi de Pomar, H. 1980. Campaña limnológica "Keratella I" en el río Paraná medio: Sedimentos de Fondo. *Ecología*, 4: 31-43.
4. Bertoldi de Pomar, H. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná, V: Caracteres texturales de los sedimentos de fondo. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15:
5. Colby, B. 1963. Fluvial sediments - A summary of source, transportation, deposition and measurement of sediment discharge. *U.S. Geol. Surv. Bull.* 1181-A, 46 p.
6. Drago, E.C. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná; I: Caracteres geomorfológicos e hidrológicos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15: 1 - 6
7. Drago, E. y M. L. Amsler. 1981. Sedimentos suspendidos en el tramo medio del río Paraná: Variaciones temporales e influencia de los principales tributarios. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 12: 28-43.
8. Einstein, H.A. 1964. Sedimentation. Part II. River sedimentation (p. 17-35, 17-67). En: Handbook of Applied Hydrology (Chow, Ed.). *Mc Graw-Hill*. N. York.
9. Folk, R. y W. Ward. 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, 27: 3-26.
10. Friedman, G. 1949. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *J. Sediment. Petrol.*, 37: 327-354.
11. Graf, W. 1971. Hydraulics of sediment transport. *McGraw-Hill*. N. York.
12. Guy, H. 1977. Sediment measurement techniques. E. Laboratory procedures (p. 401 - 428). En: Sedimentation Engineering (Vanoni, Ed.). Manuals and reports on Engineering Practice N° 54. ASCE. N. York (745 p.).
13. Inman, D. 1949. Sorting of sediments in the light of fluid mechanics. *J. Sediment. Petrol.*, 19: 51-70.
14. Inman, D. 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. *J. Sediment. Petrol.*, 22: 125-145.
15. Interagency Committee. 1943. A study of new methods for size analysis of suspended-sediment samples. Report N° 7, Federal Interdepartmental Committee, Hydraulic Laboratory of the Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa City, Iowa.
16. Krumbein, W. y F. Pettijohn. 1938. Manual of sedimentary petrography. (The Century Earth Science Series). *D. Appleton-Century*, N. York.
17. Lelievre, J. y E. Navntoft. 1977. Mediciones del transporte de sedimentos en el río Paraná a la altura de Corrientes. Proyecto ARG/73/023 sobre Mejoramiento de la Navegación del río Paraná. *Naciones Unidas, Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables*. Buenos Aires.
18. Piest, R. y C. Miller. 1977. Sediment sources and sediment yields (p. 437-493). En: Sedimentation Engineering (Vanoni, Ed.). Manuals and reports on Engineering Practice N° 54. ASCE. N. York (745 p.).
19. Seward-Thompson, B. y J. Hails. 1973. An appraisal of the computation of statistical parameters in grain size analysis. *Sedimentology*, 20: 161-169.
20. Sokal, R. R. y F. J. Rohlf. 1979. Biometría: Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica. *Blume*. Madrid. 832 p.
21. Wentworth, C. 1933. Fundamental limits to the sizes of clastic grains. *Science*, 77: 633-634.

Recibido/Received/: 16 de agosto 1983