

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

V: Caracteres texturales de los sedimentos de fondo *

*Hetty Bertoldi de Pomar***

Instituto Nacional de Limnología
J. Macía 1933 - 3016 Santo Tomé
Santa Fe - Argentina

RESUMEN

El presente trabajo forma parte de un programa de investigación de más vastos alcances en el río Paraná medio, que se lleva a cabo en el INALI (CONICET).

Contiene el análisis de los caracteres granulométricos de los sedimentos de fondo del cauce principal, a 2,7 km al norte de la ciudad de Paraná (Entre Ríos), en una sección considerada como de "control primario". Constituye el punto de partida para posteriores estudios de otros aspectos sedimentológicos tan importantes como la composición mineralógica, morfología de los clastos de cuarzo y contenido micropaleontológico.

Las variaciones registradas a través de 5 años de muestreos mensuales indican que la capacidad de transporte, en el centro del cauce, es suficiente como para transportar clastos de hasta grado ψ -2 (habiéndose encontrado, en una sola oportunidad, un grano de 14 x 8 x 4 mm). En este lugar, los sedimentos se clasifican de la siguiente manera:

- En el centro del cauce: arenas medianas a finas con predominio de ψ 2 como población de saltación (\bar{x} 95 %), dispersión buena a muy buena (\bar{x} 0,37), distribución unimodal casi simétrica y leptocurtosis.
- En las riberas: limos arcillosos, con predominancia de ψ 5 (limos gruesos), sin población de tracción, 66 % de población de saltación, dispersión pobre, distribución bimodal muy positiva y leptocurtosis, único parámetro textural coincidente en las tres estaciones de muestreo.

Se logró establecer que las selecciones encontradas no se encuadran totalmente dentro de los límites fijados en estudios previos para sedimentos fluviales.

La velocidad de la corriente parece ser el factor ambiental de mayor incidencia en los procesos de arrastre y depositación en este lugar del río Paraná.

* Trabajo realizado en parte merced a un contrato del INALI con Agua y Energía Gerencia Proyecto Paraná medio. Presentado en la Reunión de Comunicaciones Científicas de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral del 29/4/83. Santa Fe.

** Miembro de la Carrera del Investigador CONICET.

ABSTRACT

Bertoldi de Pomar, H. 1984. Limnological studies in a cross-section of the Middle reach of Paraná River, V: Textural features of bed sediments. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15: 57 - 78

This work was undertaken to go one step farther in the knowledge of the Paraná river limnological aspects. It deals with the textural features of the bed sediments 2,7 km northern Paraná city, Entre Ríos, Argentina, at a primary control section.

The observed variations during a sampling period of 5 years indicate that particles up to ϕ 2 are transported. The sediment features are as follows:

- a) At the center of the river medium to fine sands occur, with saltation population prevailing at ϕ 2 (\bar{x} : 95 %), well to very well sorted (G_1 : 0,37), with unimodal symmetric distribution and leptocurtosity.
- b) Near the river edges clay silt occur, with ϕ 5 predominant (coarse silt), without traction population, 66 % of saltation population, poorly sorted, positive bimodal distribution and leptocurtosity. This last textural parameter was the only coincident in the granulometric distributions of the three sampling stations.

Sorting did not fit within limits given in previous studies for fluvial sediments. Bottom current velocity is the principal factor affecting variation of transport and depositional processes.

INTRODUCCION

Esta sección transversal del río Paraná -cuya ubicación geográfica y aspectos geomorfológicos fueron dados a conocer por Drago⁵, se consideró óptima para desarrollar estudios sedimentológicos por haberse determinado que constituyen un "punto de control primario"⁴.

Sabido es que la dispersión natural de las partículas clásticas depende en gran parte de su morfología original, resistencia física a los agentes abrasivos, inercia química y gravedad específica, propiedades que condicionan su respuesta a la capacidad de transporte del agente.

Por tanto, la interpretación de los fenómenos de arrastre y deposición fluvial exige, entre otros, el estudio de los caracteres texturales, morfometría de los clastos, composición mineralógica y contenido micropaleontológico. El conocimiento de estas características permitirá: a) evaluar el efecto de los mecanismos citados sobre la dispersión de las partículas minerales desde sus mecanismos citados sobre la dispersión de las partículas minerales desde sus puntos de origen y b) cuantificar los aportes de la biota regional y alóctona en corpúsculos orgánicamente mineralizados.

Esta primera contribución se refiere a los caracteres texturales de los sedimentos de fondo. Las variaciones de los parámetros medidos, en relación con las fluctuaciones de la corriente en los sucesivos ciclos anuales, caracterizan una de las multifacéticas pautas funcionales del ecosistema de este gran río de llanura.

MATERIAL Y METODOS

El período de estudio abarca 5 ciclos anuales completos de la corriente, desde el 11/8/76 hasta el 2/10/81.

La metodología de trabajo responde a los lineamientos generales de técnicas ya descritas y que se aplican a todas las investigaciones sedimentológicas llevadas a cabo en el INALI¹. Los pasos operativos se seleccionaron de modo de optimizar el tiempo con resultados igualmente válidos.

En este caso, se llevaron a cabo los pasos que se enumeran a continuación.

1- *Obtención de muestras en campaña.* Se extrajeron con draga tipo Tamura, en ribera izquierda, centro y ribera derecha, en cada oportunidad. El total de 194 muestras corresponde a 61 muestreos mensuales, incluyendo 1 transecto único de 11 puntos. En el primer caso, las profundidades oscilaron entre 3 y 13 m en la ribera izquierda, entre 18 y 25 m en el centro y entre 6 y 12 m en la ribera derecha. En cuanto al transecto, se muestreó desde ribera izquierda hacia ribera derecha, en puntos equidistantes y a las siguientes profundidades: 3, 16, 19, 20, 22, 22, 20, 21 y 10 m sucesivamente. Se consideró apto el muestreo simple.

2- *Preparación del material.* a) Secado de la muestra, en el secador eléctrico a 70° C durante el tiempo necesario. b) Alícuota de trabajo, mediante cuarteo manual hasta reducir a 200 gramos, cantidad necesaria para producir fracciones granulométricas apropiadas para todos los estudios.

3- *Tratamientos previos.* Habiéndose comprobado la carencia de cementos y sales solubles¹⁹, los tratamientos preliminares se limitaron a eliminación de materia orgánica con perhidrol y desegregación con calgón (hexametafosfato de sodio).

4- *Clasificación granulométrica.* Obtenida la muestra limpia y desagregada, se procedió a efectuar la clasificación por tamaño de granos, según escala de Wentworth^{22, 23}, expresada como granos phi (ϕ)¹¹. Las fracciones gruesas se clasificaron por tamizado en seco y las finas por pipeteado de la suspensión del material en agua destilada.

5- *Procesado de datos analíticos.* Los datos analíticos obtenidos en las operaciones anteriores, expresados como % en peso, se procesaron empleando los métodos estadísticos gráficos siguientes:

- Histogramas de frecuencias relativas: Se confeccionaron según grados granulométricos de $1/2 \phi$ y de 1ϕ , para deducir las modas principales y secundarias.
- Curvas de frecuencias acumuladas: Fueron graficadas sobre papel de probabilidad logarítmica y agrupadas para cada muestreo con fines comparativos⁴, además, las resultantes del promedio de los 61 muestreos sistemáticos, y del transecto único de 11 puntos.
- Gráficos de log-probabilidad. Se confeccionaron con los datos analíticos promedio, para el centro y cada una de las riberas y para el transecto único, según Visher²⁰.

Si bien su idoneidad ha sido discutida para identificar y cuantificar las subpoblaciones de tracción, saltación y suspensión²¹, se emplearon aquí un medio de relacionar los procesos sedimentarios con las respuestas texturales.

- Parámetros estadísticos:* Mediante una calculadora Olivetti Programa 101 se obtuvieron los siguientes parámetros: *Media (Mz)*, *Selección (σ_1)*, *Asimetría (Sk_1)*, *Curtosis (K_G)* y *Función normalizadora de curtosis (K_G)*, según el método estadístico gráfico propuesto por Inmann¹⁰ y modificado por Folk y Ward⁷.

Como dato complementario, se calculó además, el coeficiente de variación ($C_v = \sigma_1 / Mz \cdot 100$)

Los valores resultantes fueron reunidos en planillas (archivos del INALI), del mismo modo que los datos analíticos, para cada estación de muestreo.

- Clasificación textural:* Fue realizada según cada parámetro, de acuerdo a las propuestas de los mismos autores^{7, 10}.

- f) *Relaciones interparametrales*: Para comprobar la incidencia del tamaño en la distribución de las partículas en un mismo medio hemos seleccionado las relaciones Dispersión -Media (σ_1 -Mz), Asimetría -Media (Sk_1 - Mz), Curtosis -Media (K_G -Mz) y Asimetría -Selección (Sk_1 - σ_1).
- g) *Diagrama CM*: Ideado por Passega^{15, 16, 17} para demostrar que los parámetros C (1 % de material más grueso) y M (Mediana) son indicadores de las condiciones hidráulicas que gobiernan la depositación de un sedimento, se reunieron los diagramas de centro y ambas riberas en un mismo patrón, con fines comparativos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Distribución granométrica

En la consideración de los caracteres texturales de cualquier agregado suelto, este es el primer elemento a tener en cuenta. En el caso que nos ocupa, se analizó la representación gráfica de las frecuencias relativas de cada grado granométrico, según histogramas elaborados en base a los valores promedio de los 61 muestreos (Fig. 1). De ellos surgen las siguientes observaciones:

- 1- En el centro del cauce el sedimento de fondo es marcadamente unimodal, mientras que en ambas riberas resulta bimodal.
- 2- En el centro el componente principal (Clase modal) corresponde a ϕ 2 (Arenas medias), con admixtura proximal en ϕ 3 (Arenas finas).
- 3- En las riberas, la moda principal se registra en ϕ 5 (limos gruesos), mientras que la secundaria, si bien poco notable, se produce en ϕ 10 (Arcillas medianas) para la ribera izquierda y en ϕ 11 (Arcillas finas) para la derecha.
- 4- En los tres casos, la admixtura proximal predominante se produce hacia el grado más fino.
- 5- El intervalo de distribución es menor en el centro del cauce (8 clases) y con asimetría menos marcada que en los otros casos, donde se registran regularmente 10 clases granométricas, en su mayoría más finas que la modal.
- 6- El tamaño máximo de partículas correspondió a una de 18x8x4 mm, captada en una sola oportunidad en la ribera izquierda.

Si nos remitimos a los resultados del muestreo único según el transecto de 11 puntos (Fig. 2) desde la ribera izquierda hacia la derecha se puede destacar lo siguiente:

- 7- En las cercanías de la costa se alcanza una amplitud de distribución de 12 clases, desde ϕ 0 hasta ϕ 12, con predominancia en ϕ 5.

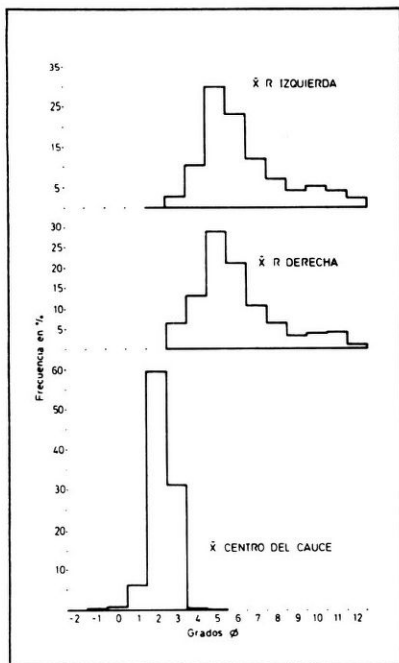


Fig. 1- Granometría promedio de sedimentos de fondo de 61 muestreos sistemáticos. Histogramas de frecuencias relativas de tamaños de granos, expresados en unidades phi (ϕ).

- 8- Hacia el centro, la distribución se prolonga hacia las clases más gruesas, en detrimento de las más finas, que a partir de la tercera muestra faltan en absoluto. Esta condición se mantiene hasta la muestra N° 11, próxima a la ribera derecha, en la cual se registra nuevamente toda la serie fina, en forma similar a la ribera izquierda.
- 9- A partir de la muestra N° 5, coincidiendo con las mayores profundidades, se registran solo cuatro clases, con predominancia casi absoluta en las clases $\phi 2$ y $\phi 3$ (arenas medianas y finas).
- 10- Las muestras 3 y 4, hacia la ribera izquierda, revelan una composición más gruesa, notablemente distinta a las demás, en lo que hace a la participación de gránulos y partículas más gruesas, cuya procedencia no ha sido determinada todavía.

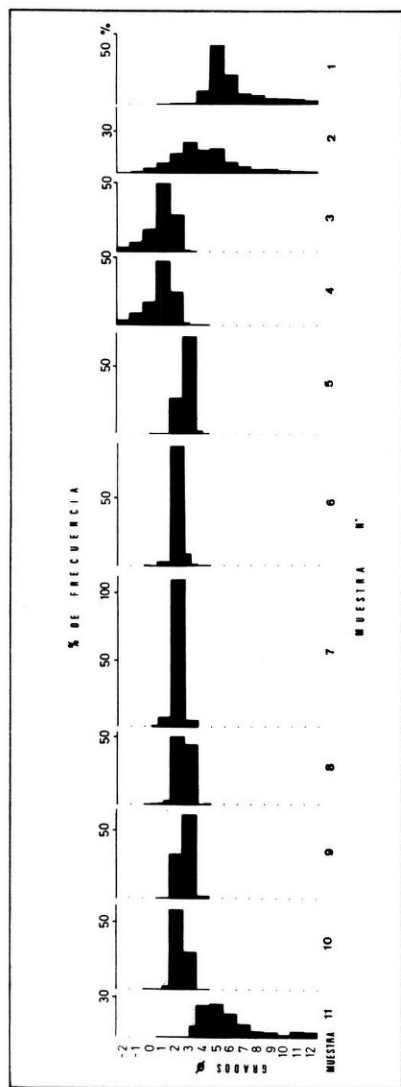


Fig. 2- Granometría de sedimentos de fondo en un transecto único de 11 puntos. Histogramas de frecuencias relativas de tamaños de granos expresados en grados ϕ (ϕ).

- 11- Si bien el valor de la mediana, representada por el percentil 50 (deducido de la curva de frecuencias acumuladas) es discutido por algunos autores como valor de tamaño promedio⁸, siempre proporciona un elemento de juicio útil para la caracterización de un sedimento. En este caso, los resultados son significativos (Fig. 3 y 4): ϕ 5,30 en ribera izquierda, ϕ 1,85 en el centro y ϕ 5,05 en ribera derecha. A su vez, en el transecto de 11 puntos se obtuvieron sucesivamente los valores ϕ 5,15; 3,20; 1,60; 2,20; 2,20; 2,50; 2,25; 2,40 y 4,90.
- 12- Por último, los cálculos globales de las fracciones gránulos, arenas, limos y arcillas (Cuadros 2 y 3) proporcionan una idea de la dominancia granulométrica registrada en los 5 años de muestreo.

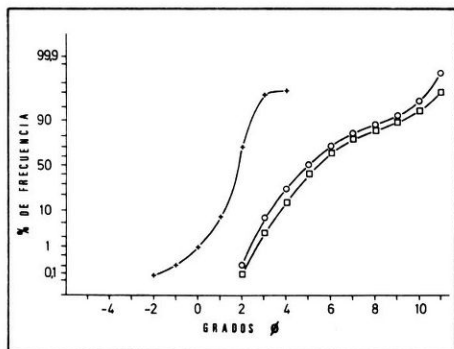
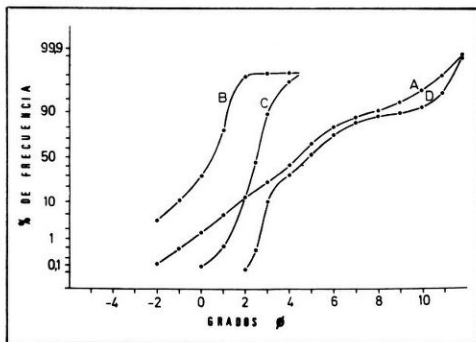


Fig. 3- Granometría de sedimentos de fondo. Curvas de frecuencias acumuladas, promedios de 61 muestreos sistemáticos.

Fig. 4- Granometría de sedimentos de fondo de transecto único de 11 puntos. Curvas de frecuencias acumuladas. A: Promedio muestras 1 y 2, ribera izquierda; B: Promedio de muestras 3 y 4, hacia el centro; C: Promedio muestras 5, 6, 7, 8, 9 y 10, centro; D: Muestra 11, ribera derecha. Agrupadas por afinidad de caracteres texturales y profundidad de extracción.



Cuadro 1
"Perfil Toma de Aguas Corrientes", Paraná (Entre Ríos). Información hidrológica y temperatura del agua correspondiente a las fechas de muestreo.

MUESTREO N	Fecha	Altura río m	Estado río	Compor- tamiento	Caudal ¹ m ³ s ⁻¹	Velocidad ² Profunda m.s ⁻¹	Temperatura ³ Agua. °C
1	11/08/76	2,19	A.bajas	Baja	s/d	s/d	s/d
2	28/10	2,62	A.medias	Crece	13.664	0,89	22,60
3	18/11	3,32	A.medias	Crece	15.934	0,66	25,03
4	21/12	3,55	A.altas	Crece	16.698	0,57	26,20
5	27/01/77	4,26	A.altas	Crece	19.115	0,83	27,93
6	01/03	5,86	A.altas	Estac.	24.733	0,76	27,20
7	28/03	4,46	A.altas	Baja	19.811	0,81	27,70
8	25/04	4,01	A.altas	Crece	18.254	0,85	23,63
9	23/05	3,30	A.ord.	Baja	15.868	1,09	18,40
10	23/06	2,18	A.ord.	Baja	12.282	0,73	15,20
11	25/07	2,34	A.ord.	Baja	12.780	0,62	16,90
12	22/08	2,01	A.ord.	Baja	11.756	0,75	17,00
13	19/09	1,82	A.ord.	Baja	11.375	0,44	20,83
14	17/10	2,03	A.ord.	Estac.	11.818	0,62	21,37
15	14/11	1,94	A.ord.	Baja	11.541	0,44	23,00
16	12/12	2,84	A.ord.	Crece	14.368	0,62	27,93
17	29/12	3,57	A.ord.	Crece	16.765	0,76	28,50
18	21/02/78	3,72	A.ord.	Baja	17.268	0,75	26,50
19	09/03	2,85	A.ord.	Baja	14.400	0,75	25,50
20	19/04	2,30	A.ord.	Crece	12.655	0,61	21,20
21	23/05	1,37	A.ord.	Baja	9.824	0,47	17,53
22	22/06	1,71	A.ord.	Baja	10.842	0,68	14,50
23	24/07	1,70	A.ord.	Baja	10.811	0,68	15,00
24	30/08	2,17	A.ord.	Baja	12.250	0,73	13,70
25	27/09	2,86	A.ord.	Baja	14.433	1,08	21,33
26	25/10	1,49	A.ord.	Baja	10.181	0,68	22,50
27	22/11	2,17	A.ord.	Crece	12.250	0,89	23,17
28	20/12	2,43	A.ord.	Baja	13.063	0,89	27,70
29	30/01/79	2,75	A.ord.	Crece	14.079	0,63	27,67
30	14/02	3,13	A.ord.	Crece	15.309	0,97	27,90
31	27/03	3,34	A.ord.	Baja	16.000	0,63	23,27
32	02/05	2,81	A.ord.	Baja	14.562	0,75	20,00
33	21/05	3,02	A.ord.	Crece	14.562	1,01	19,07
34	18/06	3,80	A.ord.	Baja	17.539	0,75	12,90
35	25/07	3,22	A.ord.	Baja	15.604	0,65	14,83
36	29/08	3,19	A.ord.	Crece	15.506	1,11	18,00
37	01/10	3,61	Crece	A.ord.	16.899	0,57	18,00
38	29/10	4,02	Estac.	A.altas	18.288	1,01	23,60
39	26/11	4,39	Baja	A.altas	19.567	0,81	23,00
40	17/12	4,17	Baja	A.altas	18.700	0,64	25,00
41	28/01/80	3,83	Baja	A.altas	17.640	0,77	26,93
42	25/02	4,19	Crece	A.altas	18.873	0,85	26,50
43	28/03	5,12	A.altas	Estac.	22.160	0,89	26,93
44	28/04	3,84	A.altas	Baja	17.674	1,01	24,43
45	29/04/80	3,43	A.ord.	Baja	16.298	0,89	20,50
46	26/06	3,41	A.ord.	Baja	16.231	0,89	14,90
47	28/07	3,36	A.ord.	Estac.	16.066	0,81	17,83
48	28/08	3,13	A.ord.	Baja	15.309	1,00	17,00
49	25/09	3,37	A.ord.	Crece	16.099	0,75	17,50
50	29/10	3,45	A.ord.	Crece	16.364	0,95	22,00
51	27/11	3,47	A.altas	Baja	16.431	1,09	26,00
52	18/12	3,21	A.ord.	Baja	15.571	1,09	27,83
53	29/01/81	3,88	A.altas	Crece	18.873	0,84	27,50
54	26/02	5,17	A.altas	Crece	22.341	0,87	29,17
55	02/04	3,78	A.altas	Baja	17.471	0,88	25,00
56	27/04	3,20	A.ord.	Baja	15.539	1,09	19,97
57	28/05	3,43	A.ord.	Baja	16.398	0,89	19,90
58	29/06	2,78	A.ord.	Estac.	14.175	0,78	18,47
59	29/07	2,19	A.ord.	Baja	12.313	0,73	14,20
60	26/08	2,07	A.ord.	Baja	11.941	0,73	17,93
61	02/10	1,78	A.ord.	Baja	11.054	0,73	18,00
Transecto	18/10/79	3,97	A.altas	Estac.	18.117	0,77	22,23

Cuadro 2

"Perfil Toma de Aguas Corrientes". Paraná (E. Ríos). Granometría integral de los sedimentos de fondo del cauce principal del río Paraná, expresada como % en peso.

Mue- strea N	Ribera izquierda				Centro				Ribera derecha			
	Gránulos	Arenas	Limos	Arcillas	Gránulos	Arenas	Limos	Arcillas	Gránulos	Arenas	Limos	Arcillas
1	-	15,95	s/det.	s/det.	0,35	69,00	s/det.	s/det.	-	5,35	s/det.	s/det.
2	-	6,45	s/det.	s/det.	-	92,35	s/det.	s/det.	s/m	s/m	s/m	s/m
3	-	13,65	s/det.	s/det.	1,65	98,10	0,15	0,10	-	16,25	s/det.	s/det.
4	-	10,45	s/det.	s/det.	-	99,60	0,40	-	-	21,15	64,35	14,50
5	s/m	-	s/m	s/m	0,20	99,35	0,45	-	-	2,95	79,65	17,40
6	-	17,75	58,30	23,95	0,05	99,30	0,55	0,10	-	44,75	29,00	26,25
7	-	8,20	74,65	17,15	-	98,25	1,75	-	-	73,20	9,30	17,50
8	-	3,25	80,70	16,05	2,30	97,40	0,05	0,25	-	8,20	78,05	19,75
9	-	4,35	78,45	25,15	-	99,10	0,90	-	-	9,55	78,15	12,30
10	-	4,85	73,70	21,45	0,15	99,70	0,15	-	-	7,95	74,80	17,25
11	-	1,70	79,55	18,75	-	99,30	0,70	-	-	8,50	72,80	18,70
12	-	6,75	78,60	14,65	2,10	97,40	0,50	-	-	7,00	74,70	18,30
13	-	11,60	69,80	18,60	0,25	99,45	0,30	-	-	36,70	52,25	11,05
14	-	1,30	75,20	23,50	0,35	99,40	0,25	-	-	1,45	75,95	22,60
15	-	0,70	75,80	23,50	0,75	98,45	0,80	-	-	7,55	69,20	23,25
16	-	0,55	80,80	18,65	-	99,20	0,80	-	-	1,25	77,30	21,45
17	-	1,25	78,95	19,80	s/m	s/m	s/m	s/m	-	1,75	86,25	12,00
18	-	8,80	70,90	20,30	0,10	93,95	5,95	-	-	1,65	74,95	23,40
19	-	1,15	70,80	28,05	-	99,55	0,45	-	-	4,45	79,65	15,90
20	-	1,55	80,05	18,40	-	99,75	0,25	-	-	2,15	85,15	12,70
21	-	0,50	73,70	25,80	-	99,60	0,40	-	-	6,20	75,45	18,35
22	-	0,55	79,75	19,70	0,20	99,25	0,55	-	-	3,80	80,20	16,00
23	-	1,35	79,90	18,75	-	98,35	1,65	-	-	1,75	79,90	18,40
24	-	10,90	67,25	21,85	-	99,60	0,40	-	-	29,25	58,00	12,75
25	-	12,25	68,95	18,80	-	98,85	1,15	-	-	15,25	74,70	10,05
26	-	9,05	63,00	27,95	-	99,65	0,35	-	-	15,95	70,25	13,80
27	-	5,80	78,95	15,25	-	99,05	0,95	-	-	13,95	74,70	11,35
28	-	8,05	76,35	15,60	-	99,60	0,40	-	-	11,90	64,20	23,90
29	-	6,50	72,80	18,70	-	98,90	1,10	-	-	15,70	63,35	20,95
30	-	21,90	66,60	11,50	-	99,90	0,10	-	-	15,70	72,45	11,85
31	-	33,85	56,70	9,45	-	99,05	0,95	-	-	10,90	75,65	13,45
32	-	14,00	76,10	9,90	-	99,40	0,60	-	-	11,55	73,45	15,00
33	-	5,95	75,80	15,25	-	99,60	0,40	-	-	10,75	77,25	12,00
34	-	55,25	42,60	2,15	0,05	99,25	0,70	-	-	24,70	69,30	6,00
35	-	10,65	86,00	13,35	x	99,45	0,5	x	-	12,70	79,25	8,05
36	-	8,35	81,80	9,85	0,35	99,30	0,35	-	-	11,70	76,35	11,95
37	-	29,05	60,20	9,95	-	99,35	0,65	-	-	4,95	72,95	22,10
38	-	30,40	57,25	12,35	0,55	99,35	0,10	-	-	29,60	59,35	11,05
39	-	12,55	72,85	14,60	0,05	99,60	0,35	-	-	54,55	40,20	5,25
40	-	15,05	69,10	15,85	-	99,75	0,25	-	-	19,15	69,65	11,20
41	-	6,60	71,1	22,00	-	99,55	0,45	-	-	9,75	78,65	13,40
42	-	5,40	76,6	17,80	0,05	99,55	0,40	-	-	64,10	30,85	5,05
43	-	23,25	61,45	15,30	-	99,55	0,45	-	-	13,35	70,50	15,15
44	-	16,80	65,15	18,05	0,15	99,55	0,30	-	-	13,75	72,80	3,45
45	-	20,35	65,20	14,45	-	99,65	0,35	-	-	5,90	73,60	10,50
46	-	55,80	38,55	5,65	-	99,75	0,25	-	-	7,60	81,50	0,90
47	-	27,95	59,50	12,55	-	99,55	0,45	-	-	15,10	74,75	10,15
48	-	16,25	74,65	9,10	-	99,65	0,35	-	-	75,25	19,25	5,50
49	-	0,70	86,20	13,10	0,10	99,65	0,25	-	-	51,10	41,35	7,55
50	-	18,15	66,25	13,40	-	99,80	0,20	-	-	7,65	84,35	8,00
51	-	8,85	72,80	13,35	0,25	99,35	0,05	0,35	-	2,40	70,80	26,80
52	-	4,65	83,05	12,30	-	99,15	0,85	-	-	4,85	83,00	12,15
53	-	37,45	52,55	10,00	0,05	93,95	6,00	-	-	29,75	61,50	8,75
54	-	13,40	73,20	13,40	-	99,60	0,40	-	-	14,95	69,15	15,90
55	3,05	20,45	63,40	13,10	0,25	99,15	0,60	-	-	24,10	63,50	12,40
56	-	36,35	53,75	9,90	-	99,40	0,60	-	-	29,80	55,55	14,65
57	-	11,40	71,75	16,85	0,30	99,35	0,35	-	-	16,35	72,95	10,70
58	-	8,40	75,10	16,50	x	99,55	0,45	-	-	61,30	31,25	7,45
59	-	8,65	77,45	13,90	-	98,70	1,30	-	-	11,75	74,10	14,15
60	-	9,60	79,40	11,00	x	99,60	0,40	-	-	15,40	76,85	7,75
61	-	6,65	77,70	15,60	1,45	98,05	0,50	-	-	15,20	68,85	15,95
\bar{x}	0,00	12,95	71,00	16,05	2,25	96,90	0,85	-	-	18,05	67,60	14,35

s/det.: sin determinar; s/m: sin muestra; - : sin fracción; \bar{x} : fracción presente en concentración menor de 0,05 %

Cuadro 3

"Perfil Toma de Aguas Corrientes" (Paraná, E. Ríos). Granometría integral de los sedimentos de fondo en un transecto de 11 puntos, desde ribera izquierda a ribera derecha, sucesivamente. Expresada como % de frecuencia.

Muestra N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Términos	-	0,85	8,55	11,45	-	-	-	-	-	-	-
Arenas	10,20	61,90	91,00	87,90	99,50	99,65	99,65	97,25	96,30	99,10	31,45
Limos	77,20	31,60	0,45	0,65	0,40	0,45	0,5	1,65	1,95	0,50	55,35
Arcillas	12,55	5,65	0,00	0,00	0,05	0,30	0,30	0,10	0,75	0,10	13,20

Gráficos de log-probabilidad

La interpretación de estos diagramas permite determinar que los materiales depositados por el río en esta parte de su recorrido, están constituidos por las subpoblaciones de tracción, saltación y suspensión en las proporciones promedio que se detallan en el Cuadro 4. Es de destacar la predominancia de la subpoblación de saltación en todos los casos, variando sólo los tamaños de los granos transportados (ϕ 0,5 - ϕ 3 en el centro y ϕ 1,5 - 5,5 en las riberas). Además, solo en el centro se registra una subpoblación de tracción. (Fig. 5 y 6).

Cuadro 4

"Perfil Toma de Aguas Corrientes" (Paraná, E. Ríos). Parámetros estadísticos promedio de 61 muestreos sistemáticos.

X	Moda	Media	Mediana	Selección	Asimetría	Curtosis	Coefficiente de variación
R. izquierda	5,70	5,64	5,30	1,94	0,44	0,55	34,60
Centro	2,60	1,66	1,85	0,37	0,007	0,55	26,15
R. derecha	5,65	5,53	5,05	1,94	0,47	0,59	35,30

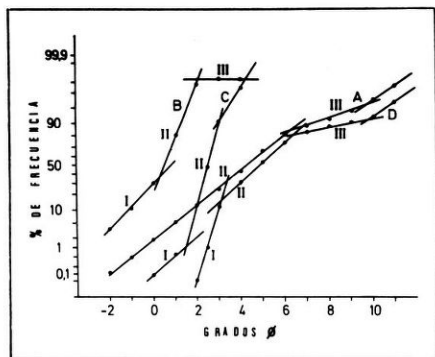
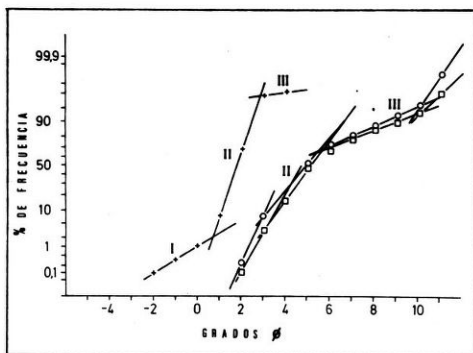


Fig. 5- Curvas de log-probabilidad (Visher), promedio de 61 muestreos sistemáticos. A: Población de tracción; B: Población de saltación; C: Población de suspensión.

Fig. 6 - Curvas de Visher, transecto único de 11 puntos. Promedio muestras 1 y 2, ribera izquierda; B: Promedio muestras 3 y 4, hacia el centro; C: Promedio muestras 5, 6, 7, 8, 9 y 10, centro; D: Muestras 11, ribera derecha. Agrupadas por afinidad de caracteres texturales y profundidad de extracción. I: Población de tracción. II: Población de saltación. III: Población de suspensión.



Tamaño medio

Se considera correctamente representado por la media aritmética según la fórmula propuesta por Folk y Ward⁷, como expresión del valor del diámetro en el "centro de gravedad de la distribución de frecuencias"¹⁰. Los resultados demuestran que: a) en el centro del cauce oscilan entre $\phi 1$ y $\phi 2$ en el 78,50 % de los casos, abarcando el rango entre $\phi 1$ y $\phi 3$; y b) en las riberas el rango tiene como límites $\phi 4$ y $\phi 7$, con predominancia de diámetros medios entre $\phi 5$ y $\phi 7$. En el Caudro 5 se ilustra acerca de la frecuencia relativa de los valores obtenidos.

Cuadro 5

Frecuencia relativa de los valores ϕ registrados para la media (M_z) en los 61 muestreos mensuales. Expresados como %, -: no registrada.

ϕ	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9
R. derecha	-	-	-	1,72	17,24	48,28	31,03	1,72	-
Centro	6,45	75,80	17,75	-	-	-	-	-	-
R. izquierda	-	-	-	1,78	8,92	42,64	44,64	-	-

Dispersión (Selección o Distribución)

Si bien habitualmente se denomina "selección" al parámetro estadístico que define la amplitud de una distribución a ambos lados del promedio (desviación estándar), Spencer¹⁸ argumentó la conveniencia de emplear la expresión "dispersión" por considerarlo un verdadero término estadístico (expresado por la fórmula de la desviación estándar gráfica), reservando el uso de "selección" para expresiones en sentido genético. Landim y Frakes¹² apoyan este criterio diciendo que la selección es una "expresión del nivel de energía del agente depositante" y como tal debe considerarse.

Al respecto, los resultados obtenidos señalan (Figs. 7 y 8):

a) dispersión buena a muy buena, con oscilaciones poco marcadas a través de todo el período, en el centro del cauce; b) dispersión pobre en ambas riberas siendo de advertir oscilaciones más amplias en la izquierda que en la derecha.

Considerando el centro del cauce como la zona de la máxima capacidad de transporte y, por lo tanto, a los sedimentos de esta parte del río como los más representativos de los efectos de la dinámica de la corriente, es de hacer notar que los valores de dispersión ($\sigma_1 = 0,37$) no se ajustan a la clasificación de Friedman⁸ (arenas de ríos: $\sigma_1 > 0,50$; arenas de dunas eólicas: $\sigma_1 < 0,50$).

El mismo autor señala que "para diferenciar arenas de ríos de arenas de dunas eólicas, con parámetros texturales próximos, es necesario determinar el radio medio de los granos de cuarzo y de un mineral pesado, y relacionar los luego con la dispersión" (Cuadro 6).

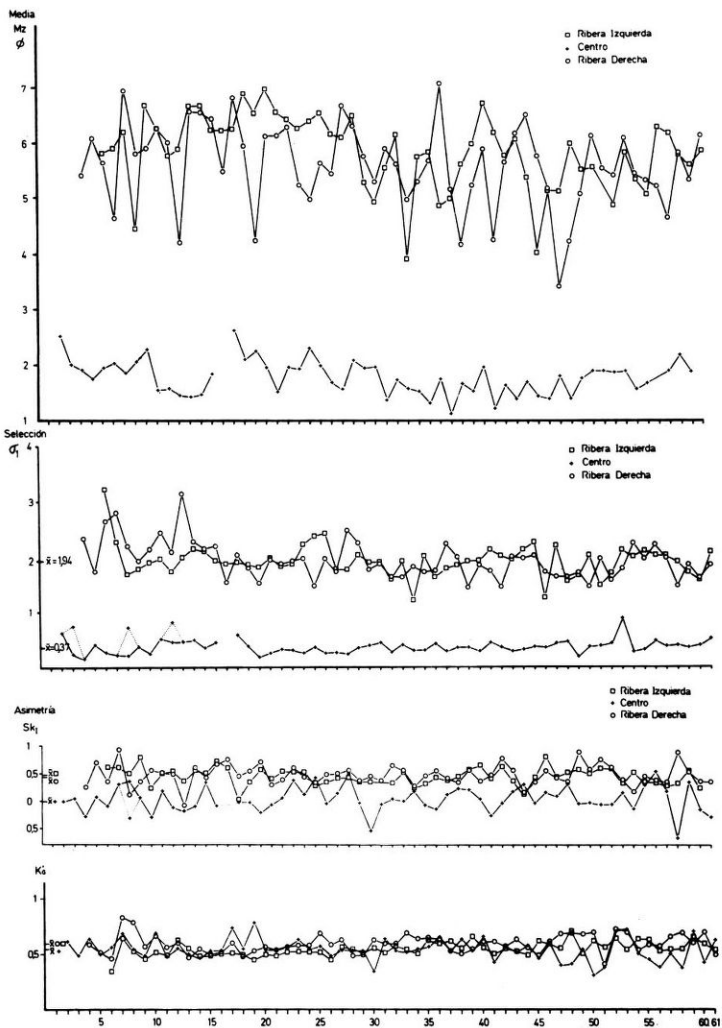


Fig. 7.- Distribución granulométrica en sedimentos de fondo. Variaciones de la **Media** (M_z), **Dispersión** (σ_1); **Asimetría** (SK_1) y **Curtosis** (K_G , función normalizada de K_G).

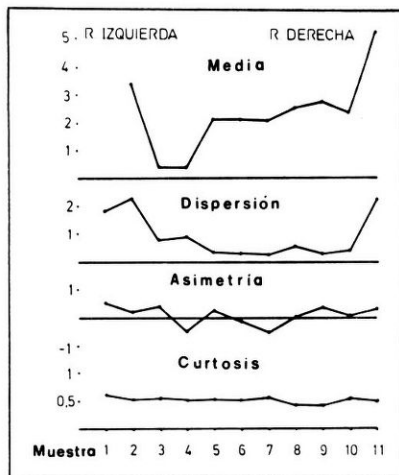


Fig. 8- Distribución granométrica de sedimentos de fondo. Variaciones de *Media* (M_z), *Dispersión* (σ_1), *Asimetría* (SK_1) y *Curtosis* (K_{G_0}), en transecto único de 11 puntos.

Cuadro 6

Representatividad promedio de subpoblaciones de tracción, saltación y suspensión (según Visher¹⁹) en los sedimentos de fondo del centro del cauce y de ambas riberas.

	Tracción		Saltación		Suspensión	
	β	ξ	β	ξ	β	ξ
R. izquierda	-	-	2,00	66,00	5,7	34,00
Centro	- 2,0	2,10	0,75	95,40	2,8	2,50
R. derecha	-	-	2,00	66,00	5,5	34,00

Asimetría

Para el centro del río, si bien no faltan valores negativos, el promedio resulta 0,007 (Cuadro 6, Figs. 7 y 8), lo que representa una perfecta simetría de distribución. En ambas márgenes, por el contrario, los valores son más altos, permitiendo clasificar esta característica como "muy positiva" y más pronunciadamente en la ribera derecha, lo que se evidencia mejor en el transecto de 11 puntos (Fig. 8).

Esta característica resulta acorde con el criterio de Friedman^B, en cuanto a que el flujo unidireccional de la corriente produce asimetría positiva tanto en arenas de ríos como de dunas eólicas.

Curtosis

En todos los puntos y a través de todo el período de muestreo, para este parámetro se registraron valores muy próximos, que permiten clasificar a estos sedimentos como “leptocúrticos” en todos los casos. Esto significa que las fluctuaciones de la velocidad de la corriente, actuaron principalmente en la parte central de la distribución de frecuencias de tamaños, vale decir, sobre las fracciones predominantes⁷. Al mismo tiempo, el escaso rango de variaciones, cuyos valores promedio son prácticamente iguales (Cuadro 4, Figs. 7 y 8) señalaría similares características de la corriente en toda la sección, independientemente del ciclo hidrológico.

Relaciones interparametrales

1) Dispersión - Media:

En nuestro diagrama (Fig. 10) se advierte que, si bien se agrupan en áreas perfectamente identificables según correspondan al centro del cauce o a ambas riberas (coincidentemente), la distribución del total de puntos define una banda diagonal que evidencia la relación directa entre los dos parámetros: a un aumento de σ_1 , corresponde un aumento de Mz , lo que equivale a decir que, a medida que aumenta el tamaño de las partículas mejora la selección.

La distribución de los puntos correspondientes al centro del cauce se agrupa en las áreas determinadas por Friedman⁸ para dunas eólicas y “dunas eólicas + ríos”. Los puntos correspondientes a ambas riberas se ubican en el área definidamente atribuida a “ríos” por este autor.

2) Asimetría - Media (Fig 11):

El 65 % de los puntos correspondientes al centro del cauce se agrupan en el área de “dunas eólicas” y los restantes, sin solución de continuidad, en el área contigua de “playas de océanos y lagos⁸”.

Los márgenes resultan representadas por un agrupamiento de puntos en un área común, no definida por Friedman.

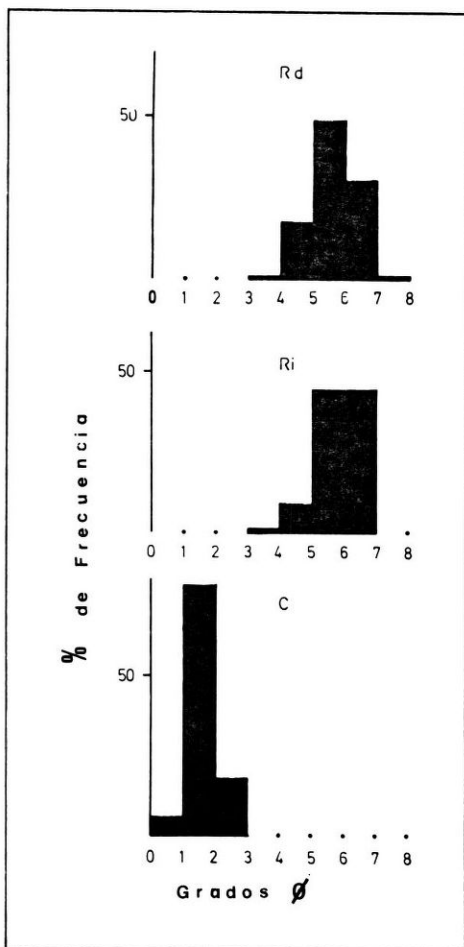


Fig. 9- Distribución granométrica en sedimentos de fondo. Histograma de frecuencias relativas de valores de la Media (M_z).

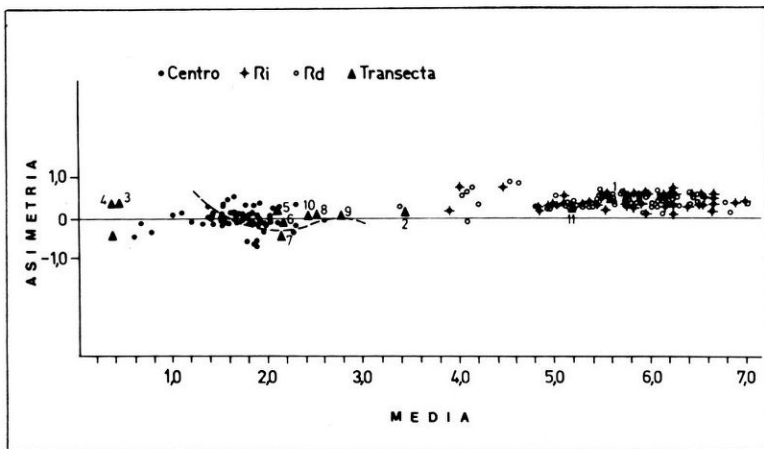


Fig. 10- Distribución granométrica en sedimentos de fondo. Relaciones interparametrales $\sqrt{1} - M_z$. 61 muestreos sistemáticos de 3 puntos.

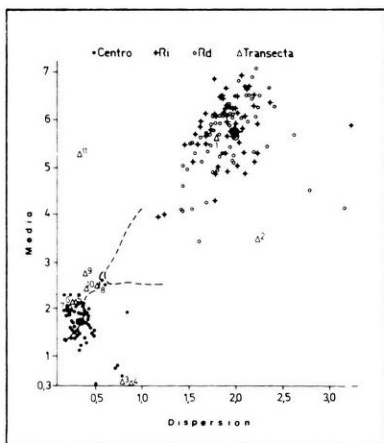


Fig. 11- Distribución granométrica en sedimentos de fondo. Relaciones interparametrales $SK_1 - M_z$. 61 muestreos sistemáticos de 3 puntos.

3) Curtosis - Media (Fig. 12):

Como en los casos anteriores, resultan dos agrupamientos de puntos determinando áreas definidas: centro del cauce por un lado y ambas riberas por el otro, dependiendo casi exclusivamente de las variaciones en los valores de la media

4) Asimetría - Dispersión (Fig. 13):

La mayoría de los puntos correspondientes al centro queda distribuida en el área de playas de océanos y lagos, muy pocos en el área atribuida por Friedman^B a ríos propiamente dichos. Por su parte, las de las márgenes se agrupan en un área no considerada en los trabajos de otros autores.

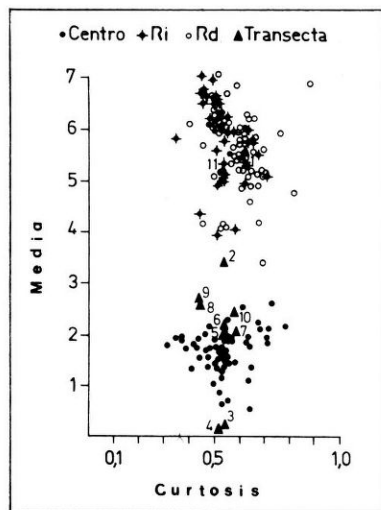


Fig. 12- Distribución granométrica en sedimentos de fondo. Relaciones interparametrales $Mz - K_G$. 61 muestreos sistemáticos de 3 puntos.

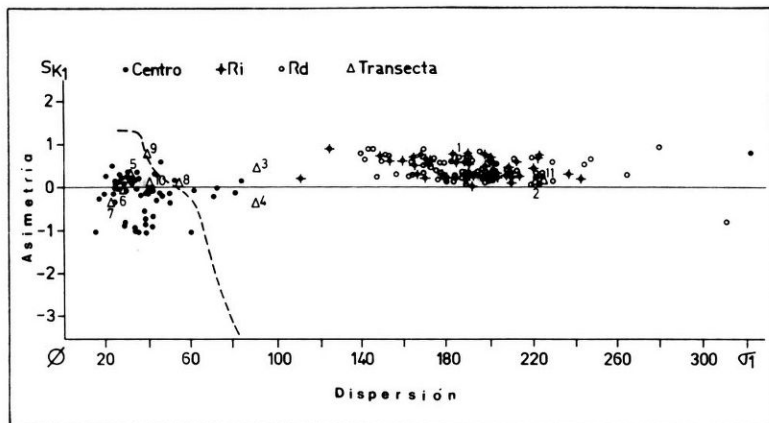


Fig. 13- Distribución granométrica en sedimentos de fondo. Relaciones interparametrales $SK_1 - \sqrt{d_1}$. 61 muestras sistemáticas de 3 puntos.

5) Diagrama C - M (Figs. 14 y 15):

Los respectivos diagramas C - M obtenidos para el presente estudio muestran las siguientes características:

- Ribera izquierda: La distribución de los puntos define un área limitada por C entre $\psi 4,5$ y $\psi-2$ y M entre $\phi 10,5$ y $\phi 3,5$.
- Ribera derecha: El 95 % de los puntos está distribuido en un área coincidente con la anterior.

En ambas riberas se registran gráficos del "tipo III" de Passega, aquí delimitados por C entre $60 \mu m$ y $300 \mu m$ y M entre $6,5 \mu m$ y $11,8 \mu m$ y que representa "sedimentos depositados por aguas quietas, generalmente de contorno circular y con puntos dispersos"^{15, 16}.

- Centro: El área de distribución de los puntos resultantes corresponde a los tipos IV y V de Passega^{15, 16} propios de sedimentos gruesos de ríos y corrientes de tracción. Los valores máximo y mínimo de C indican los efectos de la competencia de la corriente y de su máxima turbulencia en el fondo, respectivamente ($\psi - 2,1$ y $\psi 1,8$); faltan en absoluto los puntos que representan corrientes de tracción de baja velocidad, tanto como los que, en el modelo, representan corrientes de turbidez.

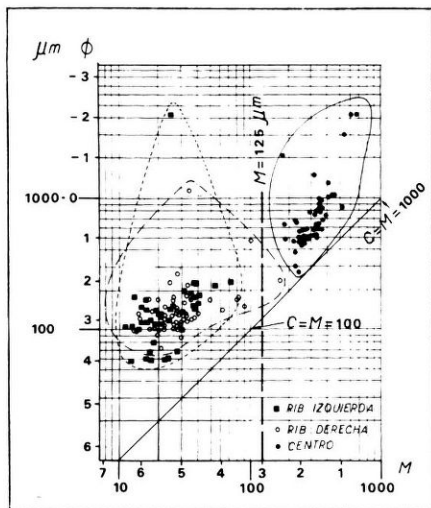


Fig. 14- Distribución granométrica en sedimentos de fondo. Relaciones interparametrales: Diagrama CM de Pasiega, para 61 muestras sistemáticas de 3 puntos.

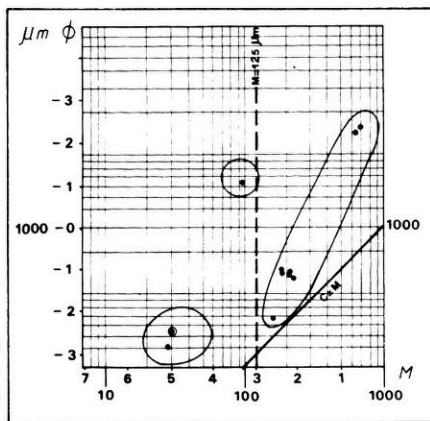


Fig. 15- Distribución granométrica en sedimentos de fondo. Relaciones interparametrales: Diagrama CM de Pasiega, para transecto único de 11 puntos.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman anteriores apreciaciones², en el sentido de que el río Paraná posee características propias y definidas, que no coinciden totalmente con las determinadas por otros autores en otros ríos de llanura^{7, 8, 14}.

En este lugar, los sedimentos de fondo pueden definirse de la siguiente manera: a) en el centro son arenas medianas a finas, con dispersión buena a muy buena, distribución unimodal de rango limitado, simetría y leptocurtosis marcadas, clase modal en ϕ 2 y admixtura proximal en ϕ 3; b) en las riberas son limos arcillosos, con similar distribución bimodal de muy amplio rango, asimetría y leptocurtosis netas, moda principal en ϕ 5 y moda secundaria en ϕ 10 o ϕ 11.

La naturaleza de los materiales revela que, según el criterio de Visher¹⁹, en el centro del cauce han sido transportados casi exclusivamente por saltación (95,40 %), mientras que, en las riberas, el aporte por suspensión es notorio, si bien no predominante (34 %).

Por último, los gráficos de las relaciones interparametrales muestran siempre coincidencia en la distribución de los puntos resultantes con las áreas atribuidas por otros autores a "dunas eólicas", "dunas eólicas + ríos" o bien "playas de océanos y lagos".

Es evidente que una evaluación definitiva debe ser complementada con estudios de otros aspectos del río, como lo son la dinámica de las formas del lecho, la variación de sus parámetros hidráulicos, etc.

AGRADECIMIENTOS

Al personal técnico y de campaña del INALI, que hizo posible la provisión de las muestras empleadas y al personal técnico de apoyo del área de Entorno Físico por su irrestricta dedicación al tratamiento físico y de obtención de los datos analíticos originales. A los colegas Prof. E. Drago e Ing. M. Amsler por sus valiosas sugerencias en la interpretación de resultados y elaboración del manuscrito.

A la Directora del INALI, Prof. C. P. de Hassan, por su permanente apoyo en la realización del trabajo y por la revisión crítica del manuscrito.

REFERENCIAS

- 1- Bertoldi de Pomar, H. 1976. Métodos de preparación de sedimentos clásticos para su estudio microscópico, I: Tratamientos previos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 7: 1-55.
- 2- Bertoldi de Pomar, H. 1980. Campaña limnológica "Karatella I" en el río Paraná medio: sedimentos de fondo. *Ecología*, 5: 31-43.

- 3- Drago, E. 1977, A. Campaña "Keratella I" a lo largo del río Paraná medio. II: Formas del lecho en su cauce principal. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 8: 57-62.
- 4- Drago, E. 1977, B. Erosión y sedimentación en un tramo del cauce del río Paraná medio (República Argentina). *Asoc. Geol. Arg. Rev.*, 32: 277-290.
- 5- Drago, E. 1984, A. 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
- 6- Drago, E. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná, VI: Comportamiento térmico del agua. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15: 79 - 92
- 7- Folk, R. y W. Ward. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, 27: 3-26.
- 8- Friedman, G. 1961. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *J. Sediment. Petrol.*, 31: 514-529.
- 9- Griffiths, J. 1951. Size versus sorting in some caribbean sediments. *J. Geol.*, 59:
- 10- Inmann, D. 1952. Measures for describing size of sediments. *J. Sediment. Petrol.* 22: 125-145.
- 11- Krumbein, W. C. 1936. Application of logarithmic moments to size frequency distributions of sediments. *J. Sediment. Petrol.*, 6: 35-47.
- 12- Landim, P. y L. Frakes. 1968. Distinction between tills and other diamictons based on textural characteristics. *J. Sediment. Petrol.*, 38: 1213-1223.
- 13- Martins, L. 1965. Significance of skewness and kurtosis in environmental interpretation. *J. Sediments. Petrol.* 35: 768-776.
- 14- Masson, C. y R. Folk. 1958. Differentiation of beach dune and aeolian flat environments by size analysis. Mustang Island. Texas. *J. Sediment. Petrol.*, 28: 211-226.
- 15- Passega, R. 1957. Texture as characteristic of clastic deposition. *Bull. Assoc. Petrol. Geol.*, 41: 1952-1984.
- 16- Passega, R. 1964. Grain size representation by CM patterns as a geological tool. *J. Sediment. Petrol.*, 34: 81-847.
- 17- Passega, R. 1977. Significance of CM diagrams as sediments deposited by suspension. *Sedimentology*, 24: 727-733.
- 18- Spencer, D. 1963. The interpretation of grain size distribution curves of clastic sediments. *J. Sediment. Petrol.*, 33: 180-190.
- 19- Vassallo, M. y L. Kieffer, 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del cauce principal del río Paraná medio, VII: Química del agua. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15:
- 20- Visher, G. 1972. Physical characteristics of fluvial deposits. *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Pub.*, 16: 84-97.
- 21- Walton, E. W.; W. E. Stephens y M. S. Shawa. 1980. Reading segmented grain-size curves. *Geol. Mag.*, 117: 517-644.
- 22- Wentworth, C. 1932. A scale grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.*, 30: 377-392.
- 23- Wentworth, C. 1935. Fundamental limits to the sizes of clastics grains. *Science*, 77: 633-634.

Recibido / Recivied / : 13 Diciembre 1983.