

SEDIMENTOLOGIA DE LAS ARENAS DEL CAUCE DEL RIO PARAGUAY

I Caracteres Texturales *

Hetty Bertoldi de Pomar
Instituto Nacional de Limnología
José Macía 1933 - 3016 Santo Tomé - Santa Fe

RESUMEN

Se dan a conocer los caracteres texturales de las arenas del cauce del río Paraguay, en un recorrido de 968,5 km que comprende parte de su cuenca de alimentación y todo el tramo medio. Los parámetros granulométricos obtenidos permiten reconocer diferencias entre los materiales que ese río transporta y deposita, en cada tramo mencionado, respondiendo a su diferente comportamiento hidrológico.

SUMMARY

Bottom sands sedimentology of Paraguay river channel. I. Textural characteristics

Studies of textural characteristics of the bottom sands were performed along main channel of the Upper and Middle Paraguay River. Through the statistical parameters it was possible to determine differences about the granulometric distribution and other textural properties and their variability.

(*) Presentado en la Reunión de Trabajos y Comunicaciones Científicas del 26-11-76.

INTRODUCCION

En el presente trabajo se dan a conocer los caracteres texturales de las arenas del cauce del río Paraguay, como parte de una más amplia investigación sedimentológica, cuyos aspectos mineralógico y micropaleontológico se darán a conocer en futuras comunicaciones.

El área en estudio abarca un recorrido de 968,5 km, desde Paso Piura (Km 1.335) hasta Paso Medin (Km 366,5), vale decir que comprende el tramo final de su cuenca de alimentación y todo el cauce medio.

No se conocen antecedentes de estudios de este tipo realizados en este río. Los trabajos de Drago (3), Soldano (17) y Tossini (18, 19) se refieren a la geomorfología de su llanura de inundación y a las características hidrográficas e hidrológicas de su curso. Los aspectos ambientales y geolitológicos generales del área están incluidos en las obras del Consejo Federal de Inversiones (2) y de la Organización de Estados Americanos (14, 15).

Características generales del río y su cuenca

El río Paraguay es uno de los más importantes cauces fluviales que integran la Cuenca del Plata, en cuyo región geográfica central se halla ubicado (Fig. 1).

Siendo notable la tranquilidad de su régimen, son algo variables sus caracteres hidrográficos, así como su comportamiento hidrológico, como consecuencia de las variaciones geolitológicas del área que atraviesa.

Desde sus nacientes, a la altura de los 14° 25' 07" Lat. S y 56° 30' de Long. W, en la meseta de Campos de Parecys de la región de Matto Grosso, Brasil, hasta su desembocadura en el río Paraná, a los 27° 21' Lat. S y 58° 37' de Long. W, alcanza un desarrollo longitudinal de 2.600 km, con una distancia geográfica de 1.453 km. Esta diferencia es la resultante de su diseño sinuoso, característico de todo su recorrido, con coeficientes de sinuosidad disminuyendo hacia el tramo inferior.

La superficie total de su cuenca se estima en 1.097.000 km². La dirección general de su cauce es de norte a sur, consecuentemente con la escasa pendiente del terreno. Los valores de su propia pendiente de fondo oscilan entre 0,132 m/km en sus nacientes y 0,029 m/km en el tramo final (17, 18).

Su canal de recepción se extiende desde su origen hasta la desembocadura del río Apa (Km. 926). Durante los primeros 270 km. de su recorrido, hasta su confluencia con el río Jaurú, considerada como de sus *nacientes*, el río tiene régimen torrencial y, por consiguiente, una marcada capacidad de transporte de material detrítico. En la amplia zona de expansión o de embalse que le sucede, conocida como Pantanal, se produce una notable reducción en la intensidad del régimen hidráulico. Constituye el tramo generalmente denominado *Paraguay superior*.

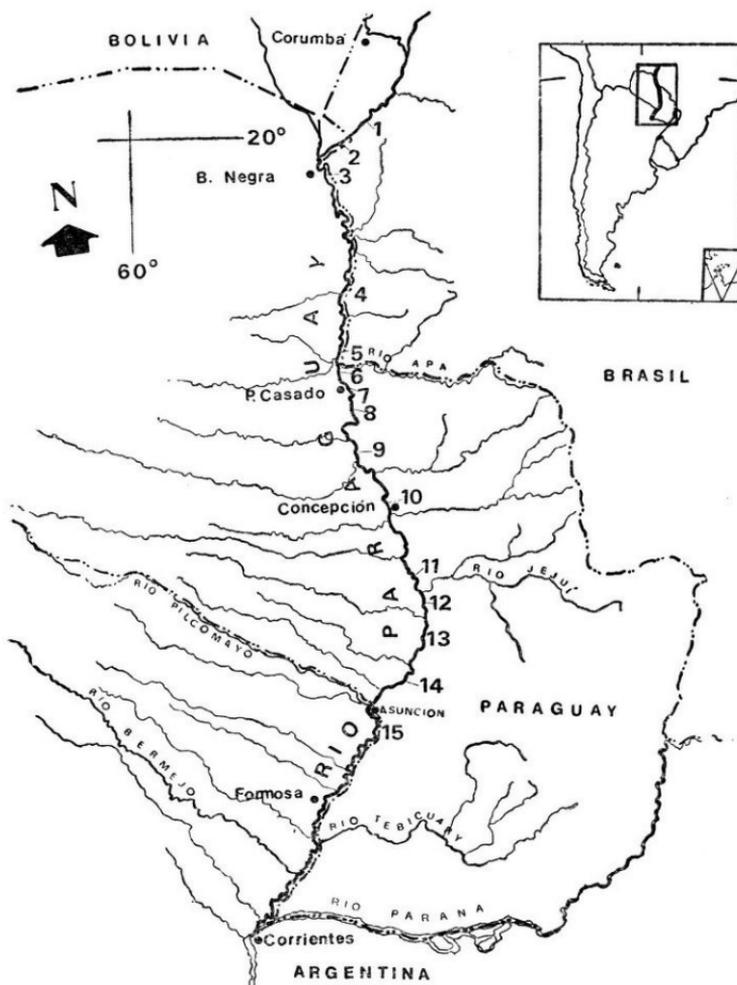


Fig. 1. — Ubicación geográfica de las muestras estudiadas

El canal de descarga, por sus características morfológicas, puede dividirse en dos tramos: el de la zona de descarga propiamente dicho o *Paraguay medio*

y el de la desembocadura o *Paraguay inferior*, cuya demarcatoria se establece en Punta Itá Pirú, a la altura de Km 344 de su recorrido.

El Paraguay medio se caracteriza por un aumento de la pendiente de fondo y el aporte de numerosos tributarios, principalmente por su margen izquierda, circunstancias que determinan un aumento de velocidad de la corriente y por lo tanto de su competencia. Además, la diferencia de altura de ambas riberas, la izquierda mucho más alta, hace que los desbordes sólo puedan producirse hacia la derecha.

El Paraguay inferior presenta un régimen hidráulico irregular, con marcada movilidad del lecho, atribuidos al aporte del río Bermejo por un lado, y a los cambios de velocidad de la corriente que provoca su encuentro con el río Paraná, por el otro. Considerando que, por estas razones, este tramo exige un muestreo específicamente programado, se ha excluido en esta primera etapa de nuestro estudio.

Las variables ambientales determinan en la región un clima definido por Troll como tropical con lluvias veraniegas en su tramo superior, hasta tropical pluvial sin ninguna o corta interrupción de estación lluviosa en el tramo inferior. La temperatura media ambiente oscila entre mínimas medias de 15° C y máximas medias de 30° C. La precipitación media anual en el área varía entre 1.000 y 1.4000 mm (15).

El extenso trazado de este río atraviesa áreas de características geomorfológicas y geológicas diferentes. El tramo superior corre a lo largo del umbral central de la Cuenca del Plata, elemento que separa los dos complejos estructurales principales de esta gran área de avenamiento: la cuenca del Paraná al este y la llanura chacopampeana al oeste. Los tramos medio e inferior se desarrollan casi totalmente sobre la llanura chacopampeana, caracterizada por una uniformidad topográfica muy acentuada, con escasa pendiente. La mayor parte de su cauce está excavado en depósitos del cuartario, lo mismo que sus afluentes de la margen derecha, pero sus tributarios de la margen izquierda atraviesan áreas de rocas sedimentarias o metamórficas antiguas (desde precámbricas hasta cretácicas (15).

La cuenca se caracteriza en casi toda su extensión por un drenaje insuficiente, lo que determina la formación de suelos predominantemente halomórficos. La vegetación que soportan corresponde en general a una formación mixta forestal con gramíneas: en el tramo superior y extendiéndose a todo el Pantanal se desarrolla una "sabana con bosquetes" en la que se destaca la palma caranday (*Copernicia alba*); en el restante recorrido dominan sabanas con bosques en galería (15).

MATERIAL Y METODOS

Las muestras estudiadas fueron extraídas en el centro del cauce, de acuerdo a la distribución geográfica que se detalla en el Cuadro 1.

Partiendo de una alícuota de 100 gramos, obtenida por cuarteo, las muestras originales fueron sometidas al procesado siguiente, de acuerdo a técnicas conocidas (1):

1. *Tratamiento preliminar* de eliminación de materia orgánica, desagregación y destrucción de barnices y cementos, habiéndose obviado la eliminación de sales solubles por su contenido despreciable.

CUADRO 1. — Procedencia de las muestras.

<i>Muestra N°</i>	<i>Km</i>	<i>Localidad</i>
1	1.335	Paso Piura
2	1.285	Puerto Brush
3	1.249	Puerto Bahía Negra
4	1.028	Puerto Cerrito
5	936	Paso Sastre
6	924	Paso Apa
7	898	Puerto Casado
8	845	Paso Max
9	754	Paso Alegre
10	711	Paso Itá Curubí
11	588	Puerto Antequera
12	570	Desemb. río Jejuí
13	542	Paso Santa Catalina
14	448	Desemb. río Mandovirá
15	366	Paso Medin

2. *Clasificación granulométrica*, por tamizado en seco de las fracciones gruesas y por pipeteado en suspensión acuosa de limos y arcillas (según escala de Wentworth, (20).

3. *Elaboración estadística de los datos analíticos* obtenidos (Cuadro 2), mediante el método gráfico empleando la escala *phi*, aplicado y discutido por otros autores (4 - 10, 12, 16, 20).

Para la obtención de los parámetros fundamentales de la *Tendencia central*, *Selección*, *Asimetría* y *Curtosis*, se aplicaron las fórmulas sugeridas por Folk y Ward (4). Si bien indiscutiblemente, el valor de la *media* es el más representativo de la tendencia central, se calcularon también la *moda* y la *mediana*, como valores auxiliares en la interpretación final.

CUADRO 2. — Datos granométricos analíticos expresados en grados \emptyset : - 2: Guijas; - 1. Gránulos; 0: Arena muy gruesa; 1: Arena gruesa; 2: Arena mediana; 3: Arena fina; 4: Arena muy fina; 8: limos totales; 12: arcillas totales.

ALTO PARAGUAY

Muestra	Grado \emptyset									
	- 2	- 1	0	1	2	3	4	8	12	
1	—	—	—	0,45	9,35	81,35	6,65	0,45	1,35	
2	0,45	0,10	0,10	0,30	0,60	38,60	42,15	8,75	9,00	
3	4,25	2,70	0,25	2,00	2,10	4,10	10,40	43,05	31,15	
4	—	—	0,05	0,05	0,10	64,90	32,10	2,80	—	
5	—	0,10	3,35	16,95	20,45	37,95	11,00	1,80	—	

PARAGUAY MEDIO

6	—	—	0,20	2,15	5,45	68,95	20,80	1,20	1,00
7	—	0,30	2,15	23,95	31,35	22,75	11,45	4,45	2,45
8	—	—	0,40	13,45	45,55	32,05	6,20	2,35	—
9	—	—	0,10	1,95	14,05	58,30	22,60	1,00	2,00
10	—	0,05	1,35	8,35	19,85	58,60	8,10	0,20	3,05
11	—	0,10	0,90	10,15	63,15	21,05	1,80	2,85	—
12	—	—	—	8,60	61,85	27,45	1,50	0,30	0,30
13	—	—	0,10	6,80	54,25	30,80	6,20	1,15	0,70
14	—	0,15	0,10	5,85	52,85	35,60	4,05	1,40	—
15	—	—	0,50	13,60	58,20	24,35	0,80	1,25	1,30

RESULTADOS Y DISCUSION

Los parámetros estadísticos resultantes señalan que, en general, estos sedimentos se clasifican según grados granulométricos muy próximos. Sin embargo, se advierte que sus magnitudes son variables en el tramo superior, mientras que tienden a mantenerse constantes en el tramo medio (Cuadros 3 y 4).

CUADRO 3. — Parámetros granométricos de los sedimentos del río Paraguay.

Muestra Nº	Clase modal	Admixtura proximal	Media	Moda	Mediana	Selección	Asimetría	Curtosis	Función normalizada de curtosis
ALTO PARAGUAY									
1	3	2	2,41	3,50	2,35	0,37	0,25	1,74	0,63
2	4	3	3,33	4,10	3,15	1,69	0,21	3,56	0,78
3	N/D	N/D	6,26	5,80	5,90	3,77	0,85	0,82	0,45
4	3	4	2,98	3,70	2,80	0,42	0,42	1,48	0,59
5	3	2	2,03	3,40	2,30	1,65	-0,01	1,08	0,51
PARAGUAY MEDIO									
6	3	4	2,75	3,55	2,70	0,55	0,56	3,14	0,75
7	2	1	1,88	2,45	1,70	1,39	0,34	1,24	0,55
8	3	2	1,85	2,70	1,85	0,80	0,03	2,01	0,66
9	3	4	2,50	3,55	2,30	0,61	-0,31	1,14	0,53
10	3	4	2,16	3,50	2,30	0,73	0,45	1,30	0,56
11	2	3	1,68	2,60	1,65	0,64	0,05	1,43	0,58
12	2	3	1,73	2,60	1,70	0,65	0,09	1,17	0,53
13	2	3	2,03	2,50	1,90	0,63	0,09	2,05	0,67
14	2	3	1,85	2,70	1,75	0,65	0,29	1,22	0,54
15	2	3	1,70	2,50	1,80	0,60	-0,27	1,64	0,62
X	2	3	2,46	3,27	2,41	1,00	0,20	1,66	0,59

En particular, las variaciones registradas para cada una de las propiedades enunciadas son las siguientes (Cuadro 4):

CUADRO 4. — Clasificación textural de las arenas del cauce del río Paraguay. *Según moda*: Af = arena fina, amf = arena muy fina; Li = limo. *Según distribución modal*. U = unimodal; B = bimodal. *Según selección*: B = buena; M = moderada; m = mala; Mm = muy mala. *Según curtosis*: Pl = platicúrtica; M = mesocúrtica; Lp = leptocúrtica; Mlp = muy leptocúrtica; Elp = extremadamente leptocúrtica. *Según asimetría*: N = negativa; Cs = casi simétrica; P = positiva; Mp = muy positiva.

Muestra Nº	CLASIFICACION				
	Moda	Distrib. modal	Selección	Asimetría	Curtosis
PARAGUAY SUPERIOR					
1	Af	U	B	Mlp	P
2	Amf	U	m	Elp	P
3	Li	U	Mm	Pl	Mp
4	Amf	B	B	Lp	Mp
5	Af	U	m	M	Cs
PARAGUAY MEDIO					
6	Amf	U	M	Elp	Mp
7	Af	U	m	Lp	Mp
8	Af	U	M	Mlp	Cs
9	Amf	U	M	Lp	Mm
10	Amf	U	M	Lp	Mp
11	Af	U	M	Lp	Cs
12	Af	U	M	Lp	Cs
13	Af	U	M	Mlp	Cs
14	Af	U	M	Lp	P
15	Af	U	M	Mlp	N

1º) Con excepción de las muestras Nº 2 y 3, el tamaño máximo de los granos registrado corresponde el grado ϕ -1 (2.000 a 4.000 μ), vale decir a *gránulos*, si bien sus concentraciones nunca superan el 0,30 % y, por lo tanto son poco significativas.

2º) El análisis de los histogramas (Fig. 2) revela que la distribución es generalmente *unimodal*, con moda bien marcada, intervalos pequeños y asimetría bastante bien definida. Sin embargo, se advierte que la tendencia de la dis-

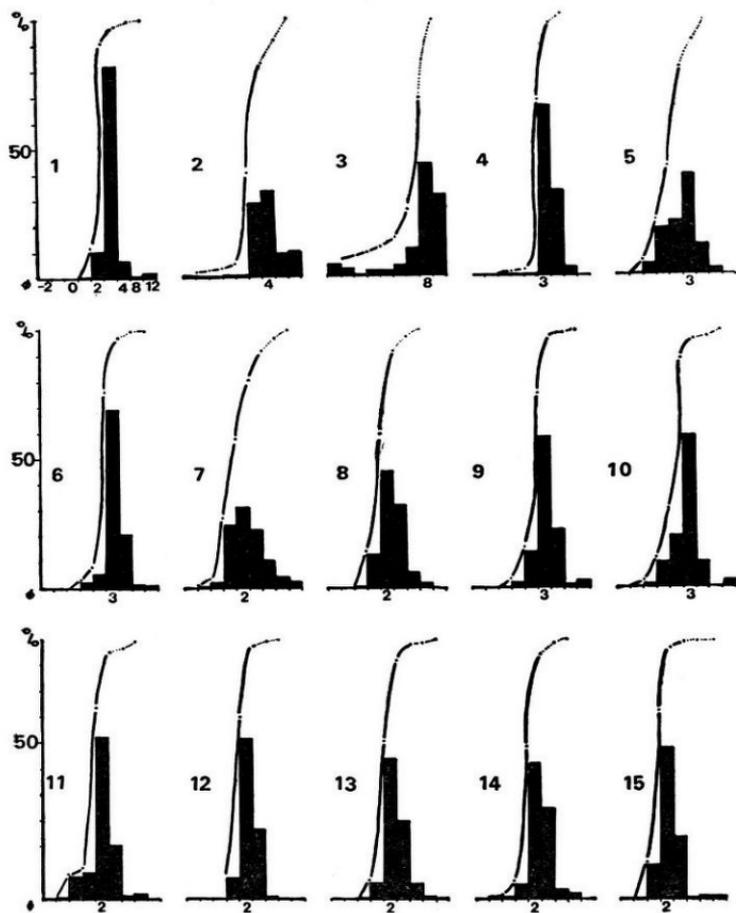


Fig. 2. — Histogramas de frecuencias relativas y curvas de frecuencias acumuladas, de la clasificación granométrica de las muestras

tribución varía de la siguiente manera: mientras que en el tramo superior la clase modal corresponde al grado ϕ 3 y la admixtura proximal predominante al grado ϕ 2, en el tramo medio la clase modal se registra predominantemente en ϕ 2, con admixtura proximal predominante en ϕ 3. Vale decir que, en el

primer caso predominan las *arenas finas con tendencia a medianas* y en el segundo caso predominan las *arenas medianas con tendencia a finas*.

3º) Si bien por sus valores numéricos la *selección* corresponde siempre al rango de normalidad establecido para las arenas de ríos (6), en el tramo superior resulta muy variable, ya que oscila entre *muy mala* y *buena*, mientras que en el tramo medio resulta constantemente *moderada*. Sólo hay una excepción (muestra nº 7), cuyas características parecen corresponder a arenas de costas, por lo cual se supone que no ha sido extraída en el centro correcto del cauce.

4º) La *asimetría* es típicamente positiva (6), como corresponde a las curvas que representan sedimentos con exceso de material fino respecto al grueso (11). En el tramo medio son más frecuentes y constantes los casos de *asimetría casi simétrica*.

5º) El grado de agudeza o *curtosis* revela que, en general, estas arenas son *leptocúrticas*, con valores numéricos siempre alejados de los extremos conocidos para sedimentos naturales (4). Sin embargo, en concordancia con los otros parámetros, el tramo superior delata una irregular calificación, alternativamente variable desde *extremadamente leptocúrtica* hasta *mesocúrtica*, mientras que en el tramo medio resulta constantemente *leptocúrtica*.

CONCLUSIONES

El efecto hidráulico del área de expansión del alto Paraguay, conocida como Pantanal, se traduce en una irregular clasificación de los sedimentos del cauce en este tramo del río. Además de ser más finos (arenas finas: \varnothing 3), poseen caracteres texturales algo diferentes y mucho más variables que los del tramo medio. En éste, se aprecia una marcada regularidad en la clasificación textural de las arenas que, como queda dicho, muestran diámetros mayores en un grado granulométrico phi (arenas mediana: \varnothing 2).

Esta diferencia de tamaño quedaría explicada por un aumento de la competencia del río, como consecuencia del incremento de la pendiente de fondo y la posible influencia del régimen torrencial de los tributarios de la margen izquierda.

Sin embargo, la regularidad de la distribución de los otros caracteres texturales a lo largo del Paraguay medio refleja una falta de incidencia local de estos afluentes, en contraposición con lo que sugeriría el "régimen hidrológico menos regular" señalado por Tossini (19) para este tramo.

AGRADECIMIENTOS

Las muestras estudiadas fueron remitidas por la Comisión de Estudio de Navegabilidad del río Paraguay al sur de Asunción (Naciones Unidas), Proyecto Par. 12, por intermedio del desaparecido co-Director del Proyecto "Me-

joramiento de la Navegación del río Paraná (Arg. 31) - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo”, de la Secretaría de Recursos Hídricos de la Argentina, Ing. Segundo A. Cabral, para quien deseo dejar constancia de mi agradecimiento, como así también al Prof. Edmundo Drago, por la revisión crítica del manuscrito y las atinadas modificaciones sugeridas al texto.

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

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 - 56.
2. C. F. I. 1962. Evaluación de los recursos naturales en la Argentina. (Vol. I), C. F. I., Bs. As. (459 p.).
3. DRAGO, E. 1975. Mapa geomorfológico de la llanura aluvial del río Paraguay inferior. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, 30 (3): 217 - 222.
4. FOLK, R. y W. WARD. 1957. Brazos river bar: a study in the significance in grain size parameters. *Journ. Sed. Petr.*, 27 (1): 3 - 26.
6. FRIEDMAN, G. 1967. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands, *Journ. Sed. Petr.*, 37 (2): 327 - 354.
5. FRIEDMAN, G. 1961. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Journ. Sed. Petr.*, 31 (4): 519 - 529.
7. CRIFFITHS, J. 1967. Scientific methods in analysis of sediments. *Mc Graw Hill*, N. York. (508 p.).
8. INMANN, D. 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. *Journ. Sed. Petr.*, 22 (3): 125 - 145.
9. JONES, T. 1969. Skewness and Kurtosis as criteria of normality in observed frequency distributions. *Journ. Sed. Petr.*, 39 (4): 1622 - 1627.
10. KRUMBEIN, W. C. 1934. Size frequency distribution of sediment. *Journ. Sed. Petr.*, 4: 65 - 77.
11. LANDIM, P. y L. FRANKS. 1968. Distinction between tills and other diamictons based on textural characteristics. *Journ. Sed. Petr.*, 38 (4): 1213 - 1223.
12. MARTINS, L. 1965. Significance of skewness and kurtosis in environmental interpretation. *Journ. Sed. Petr.*, 35 (3): 768 - 770.
13. MASSON, C. y R. FOLK. 1958. Differentiation of beach, dune and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. *Journ. Sed. Petr.*, 28 (2): 211 - 226.
14. O.E.A. 1971. Cuenca del río de La Plata. Estudio para su planificación y desarrollo. I. Inventario y análisis de la información básica sobre recursos naturales. O.E.A., Washington (169 p.).
15. O.E.A. 1969. Cuenca del río de La Plata. Estudio para su planificación y desarrollo. II. Inventario de datos hidrológicos y climatológicos. O.E.A., Washington (272 p.).
16. PETTIJOHN, F. J. 1963. Rocas sedimentarias. *Eudeba*. Bs. As. (731 p.).

17. SOLDANO, F. A. 1947. Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina. I. El río Paraná y sus tributarios. *Cimera*. Bs. As. (277 p.).
18. TOSSINI, L. 1941. El río Paraguay. *An. Soc. Cient. Arg. Ent. III*, 132: 118 - 134.
19. TOSSINI, L. 1942. El río Paraguay (conclusión). *An. Soc. Cient. Arg. Ent. VI*, 133: 502 - 522.
20. WENTWORTH, C. K. 1933. Fundamental limits to the sizes of clastic grains. *Science*. 77: 633 - 634.