

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

XIV- CONCENTRACION DE MINERALES PESADOS EN SEDIMENTOS
DE FONDO Y POSIBLES FACTORES CONDICIONANTES.(*)

*Esteban Passeggi (**) y Hetty Bertoldi de Pomar (***).*

Instituto Nacional de Limnología (CONICET)
José Macía 1933 - 3016 Santo Tomé
Santa Fe - Argentina

RESUMEN

Passeggi, E. y H. Bertoldi de Pomar. 1991. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná, XIV: Concentraciones de minerales pesados en sedimentos de fondo y posibles factores condicionantes. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 22 (1): 41-53

Se analizan los factores que afectan la concentración de minerales pesados en los sedimentos de fondo en un punto de control primario del río Paraná medio. Las concentraciones totales son similares a las detectadas anteriormente en dicho curso. En promedio, las concentraciones de minerales pesados son mínimas e inferiores al 2%, con valores excepcionales superiores al 10%, debido posiblemente a la influencia ejercida por las dunas existentes en el cauce. No se observan diferencias significativas en la granometría de los minerales pesados en relación con la del total de los sedimentos de fondo, como tampoco se detectan variaciones importantes de las mismas, cuando éstas son relacionadas con los correspondientes estados de aguas medias y altas, presentados por el río durante el período estudiado. En aguas altas, los promedios disminuyen en el centro del cauce y aumentan en las riberas, debido al diferente gradiente en las velocidades de la corriente, que son altas en el primero disminuyendo hacia los márgenes, con el consiguiente descenso en la capacidad de transporte. La ribera derecha muestra las mayores concentraciones promedio de minerales pesados a raíz de la incidencia que tienen las características morfométricas y sedimentológicas aguas arriba de la sección transversal.

(*) Trabajo presentado en las IV Jornadas de Ciencias Naturales del Litoral, Santa Fe, agosto de 1991.

(**) Becario de Iniciación del CONICET.

(***) Ex-Miembro de la carrera de investigador del CONICET.

ABSTRACT

Passeggi, E. and H. Bertoldi de Pomar. 1991. Limnological studies in a cross section of the middle reach of Paraná River. XIV: Heavy mineral's concentrations in bed sediments and their possible conditioning factors. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 22 (1): 41-53

Factors which affect heavy minerals concentrations in bed sediments of Middle Paraná River as a primary control point, are analyzed. Total concentrations are similar to the previously detected in that reach. The heavy minerals concentrations, in average, are minimum and lower than 2%, with exceptional values up to 10%, that can be possible by the influence of dunes's cauce existing on the channel. No significative differences in the size distribution of the heavy minerals in relation with total granulometry of the bed sediments, so as neither important variations of them are detected, when they are related with the corresponding state of middle-waters and high-waters, presented for the river during the period studied. In high-waters, average decreases at the channel center and increases at the shores. This is attributable to the different gradients of the flow velocities, which are high in the center and decrease at the shores, by the different diminution of the transport capacity. The right shore shows the largest average heavy mineral's concentrations for morfometric and sedimentologic characteristics upstream of cross-section incidence.

INTRODUCCION

El presente trabajo forma parte de un programa de investigación llevado a cabo en el INALI (CONICET) del cual participó un grupo de investigadores interesados en los múltiples aspectos del tema, con el objetivo de conocer el comportamiento del río Paraná, a lo largo de su tramo medio. Muchos de los resultados obtenidos fueron dados a conocer oportunamente, tanto en lo referente a características hidrológicas (Drago, 1984 a) del propio río como a los caracteres físicos, químicos y biológicos del agua (Amsler y Drago, 1984; Bertoldi de Pomar, 1984 b; Drago, 1984 b, c; Emiliani, 1984; José de Paggi, 1984; Oldani y Oliveros, 1984; Perotti de Jorda, 1984 y Vassallo y Kieffer, 1984) y de los sedimentos de fondo (Bertoldi de Pomar, 1984 a; Copes, 1984 y Marchese, 1984).

Los resultados obtenidos proporcionan información preliminar sobre la composición mineralógica (incluida la morfología de los clastos y contenido micropaleontológico) que serán motivo de otras contribuciones. Por tanto, sólo comprende la apreciación cuantitativa, expresada como porcentaje relativo en peso, de la totalidad de minerales pesados acumulados en el lugar.

Se llevó a cabo en un punto de control primario situado a la altura de la Toma de Aguas Corrientes de la ciudad de Paraná (Entre Ríos, Argentina) (Fig. 1), con el objetivo de conocer la incidencia que tienen las variaciones hidrológicas

del río (caudal y velocidad de la corriente) sobre el arrastre y depósito de partículas (clastos) de diferente peso específico y tamaño.

No existiendo antecedentes de esta índole para esta gran vía fluvial, éste constituye el primer aporte en tal sentido.

MATERIAL Y METODOS

El estudio se realizó sobre un total de 180 muestras de sedimentos de fondo, obtenidas durante el muestreo de 60 meses realizado por el INALI entre el 11-08-76 y el 02- 10-81, con una frecuencia aproximada de 30 días.

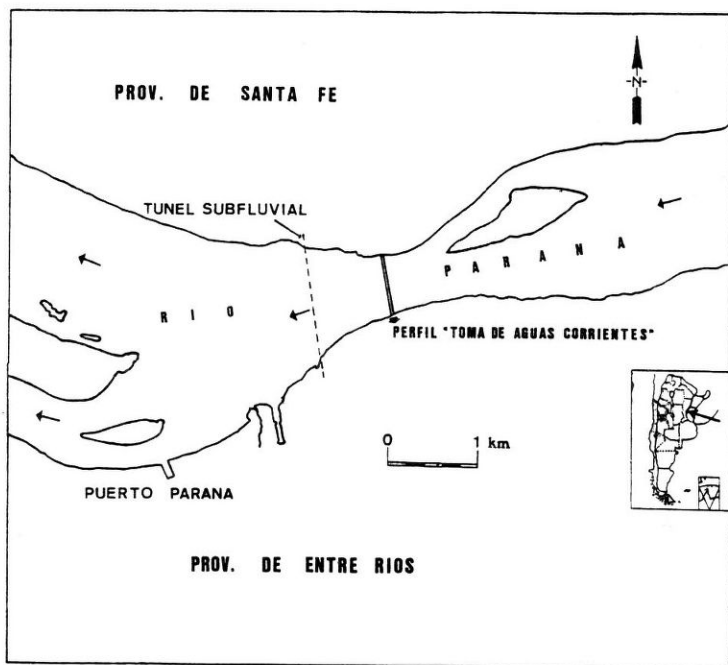


Fig.1. Mapa de situación de la sección transversal investigada: "Perfil Toma de Aguas Corrientes de Paraná, Entre Ríos, Argentina" (extractado de Drago, 1984 a).

Se procesaron alícuotas de unos 2 g, tomadas de cada fracción granométrica, resultante del tratamiento aplicado en la investigación de los caracteres texturales de estos mismos sedimentos (Bertoldi de Pomar, 1984 a). Las alícuotas disponibles (más de 1000), desde las fracciones más gruesas hasta el grado phi 5 (limo grueso) se sometieron a separación densimétrica para obtener las fracciones mineralógicas liviana y pesada. Para ello se utilizó bromoformo de peso específico alrededor de 2,8 de acuerdo a las técnicas habituales (Bertoldi de Pomar, 1976).

Se obtuvieron los pesos de cada fracción liviana y pesada, mediante el empleo de una balanza Mettler de precisión 0,1 mg.

Los datos obtenidos se elaboraron estadísticamente relacionándolos con el estado hidrométrico del río, en el intento por conocer las variaciones de su capacidad de transporte, consecuente con la velocidad de la corriente, caudal y tendencia a crecer o bajar.

Para ilustrar los resultados, se graficaron según histogramas y curvas de frecuencias relativas de cada muestra obtenida. Su estudio comparativo permitió elaborar los respectivos gráficos promedio (Fig. 2) del muestreo total y de los agrupados según aguas altas y medias (Fig.3). También se hallaron los coeficientes de correlación lineal múltiple (Snedecor, 1964) entre las concentraciones

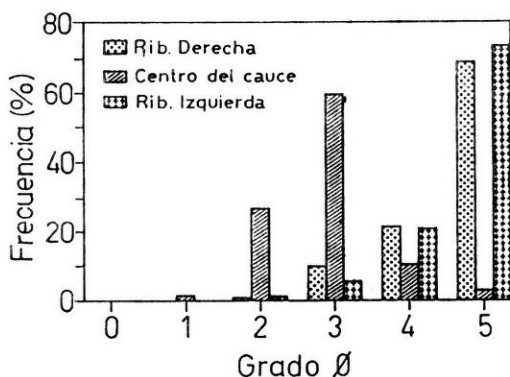


Fig.2. Distribución promedio por tamaño de granos de minerales pesados en sedimentos de fondo de 60 muestreos sistemáticos. Histogramas de frecuencias relativas de tamaños de granos expresados en unidades phi.

nes totales de minerales y las variables caudal y velocidad tanto en las riberas como en el centro del cauce (Cuadro 3) para las diferentes situaciones hidrológicas (estado y comportamiento).

RESULTADOS Y DISCUSION

Las concentraciones registradas durante todo el período de estudio no presentan grandes diferencias con las obtenidas a lo largo de todo el tramo medio del río Paraná durante la campaña "Keratella I" (Bertoldi de Pomar, 1980).

La ribera derecha muestra la mayor concentración promedio de minerales pesados y al mismo tiempo, los valores presentan una mayor dispersión (desvío standard) en torno a dicha medida (Cuadro 1). Sus registros totales oscilan entre 0,01 y 10,59%, con uno excepcional de 16,97% detectado durante un estado de aguas altas en creciente (nivel hidrométrico en Paraná = 3,37 m, 25-09-80).

El centro del cauce presenta el menor promedio de concentración (1,04 %) con valores cuyo rango de dispersión también es el menor, oscilando entre 0,08 y 4,39%, respectivamente. Aquí también se registró un valor extraordinario de 12%, coincidentemente en la misma fecha en que se observó el máximo en la ribera derecha (25-09-80).

Para la margen izquierda dichos valores totales oscilan entre 0,02 y 11,30%, no detectándose en este caso, el aumento excepcional antes mencionado.

Cuadro 1

Minerales pesados del río Paraná. Concentraciones promedio (Prom.) y desvíos standard (D.S.; en % relativos del peso total) de 60 muestras mensuales correspondientes a las 3 estaciones en la sección transversal estudiada.

	Prom.	D.S.
Ribera Derecha	1,62	2,72
Centro	1,04	1,72
Ribera Izquierda	1,31	2,06

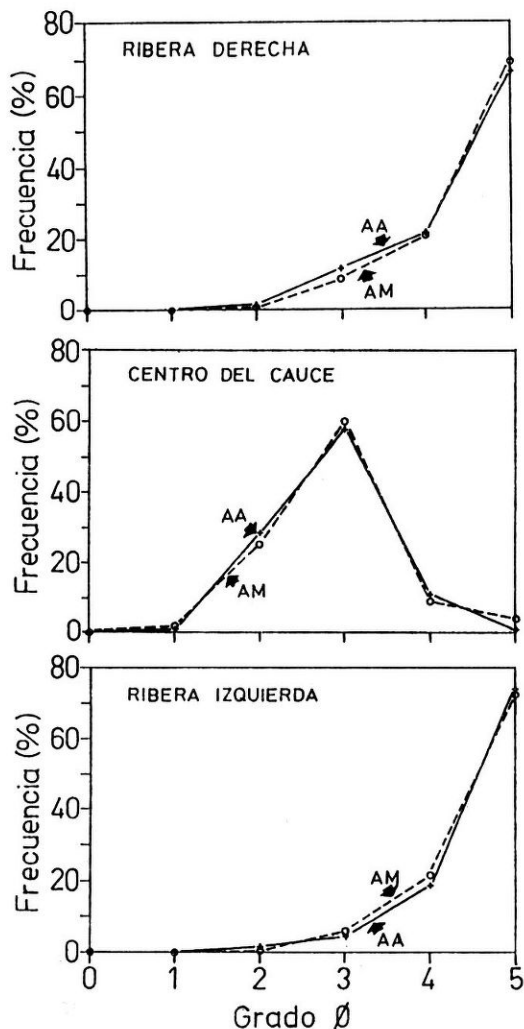


Fig.3. Distribución promedio por tamaño de granos de minerales pesados en sedimentos de fondo en aguas medias (AM) y en aguas altas (AA) para las 3 estaciones de muestreo.

En relación a la distribución de minerales pesados según los distintos tamaños de partículas (Fig.2) el centro muestra un comportamiento claramente diferente a las riberas presentando moda en grado phi 3 (arena fina) con admixtura proximal en phi 2 (arena media). Cabe señalar que según el estudio de los caracteres texturales de los sedimentos de fondo del río Paraná (Bertoldi de Pomar, 1984 a), para el centro del cauce la predominancia granométrica se da en phi 2 con admixtura proximal en phi 3 lo que indica que para los minerales pesados se invierte el orden de la distribución. Los porcentajes de minerales pesados son despreciables para el grado phi 0 (arena muy gruesa).

Las riberas muestran un comportamiento similar entre sí, registrando una mayor concentración de minerales pesados en el grado phi 5 (limo grueso) disminuyendo la frecuencia a medida que aumenta el tamaño de las partículas, llegando a ser despreciable para el grado phi 1 (arena gruesa). No se encontraron minerales pesados de diámetros correspondientes al grado phi 0 (arena muy gruesa).

Nótese que, contrariamente a lo que sucede en el centro del cauce, en las riberas la distribución de los minerales pesados por tamaños guarda una estrecha correspondencia con la granometría de los sedimentos de fondo de este río (Bertoldi de Pomar, *op.cit.*).

En cuanto a su relación con el estado hidrométrico del río cabe consignar que durante todo el período de muestreo no se registraron aguas bajas, consi-

Cuadro 2

Minerales pesados del río Paraná. Concentraciones promedio (Prom.) y desvíos standard (D.S.; en % relativos del peso total) en relación al estado hidrométrico para las 3 estaciones de muestreo en la sección transversal estudiada.

	Aguas Medias		Aguas Altas	
	Prom.	D.S.	Prom.	D.S.
Ribera Derecha	1,47	2,99	1,89	2,01
Centro	1,03	1,96	0,93	0,88
Ribera Izquierda	1,15	1,90	1,68	2,43

deradas como tales las alturas inferiores a 1,20 m (Dpto. Paraná Medio - Dir. Nac. de Construcciones Portuarias y Vías Navegables - MOSP).

Si se consideran las concentraciones totales promedio (Cuadro 2) se puede observar que para las riberas el mayor registro de minerales pesados se da en aguas altas. Para el centro, por el contrario, dichos valores son menores para ese mismo estado del río, incrementándose en aguas medias. Este comportamiento tan disímil se corresponde con las diferencias en las características de transporte y depositación de sedimentos, que guardan una estrecha relación con el caudal y la velocidad de la corriente. Si se parte del hecho de que la capacidad de transporte está en relación directa con la velocidad de corriente y ésta, a su vez, lo está con la altura del río (dentro de ciertos límites), en aguas altas, en el centro, se encontrarán velocidades de corriente superiores, que transportarán más y depositarán menos. El gradiente de velocidad disminuye hacia las riberas debido a que se acentúa el efecto de rozamiento con el lecho lo que posibilita la depositación de sedimentos y en este caso de los minerales pesados.

Debe destacarse la importancia que adquiere en este proceso, el diseño anastomosado, característico del cauce principal del río Paraná. Así, aguas arriba y abajo de la sección transversal (punto de control primario), se detectan esas condiciones de anastomosis debido a que la corriente es dividida por la presencia de islas y bancos del cauce. En el caso estudiado, una de las consecuencias sería la existencia, aproximadamente 1,5 km aguas arriba de la sección transversal, sobre la ribera derecha, de un área de fuerte sedimentación, lo que provoca el progresivo adosamiento de una isla del cauce sobre el borde de la llanura aluvial. Este proceso señala la presencia de una zona con profundi-

Cuadro 3

Minerales pesados del río Paraná. Coeficientes de correlación lineal múltiple entre las concentraciones promedio, caudal y velocidad (según estado y comportamiento del río) para las 3 estaciones de muestreo.

	Aguas Altas		Aguas Medias	
	Crece	Baja	Crece	Baja
Ribera Derecha	0,97	0,29	0,34	0,44
Centro	0,71	0,61	0,38	0,56
Ribera Izquierda	0,37	0,47	0,72	0,47

dad y velocidad de corriente sensiblemente menores, y por lo tanto con escasa capacidad de transporte, lo que explicaría la existencia de las mayores concentraciones medias de minerales pesados halladas en esta ribera, tanto en aguas altas como en aguas medias.

En cuanto a la concentración de minerales pesados según los distintos diámetros de partículas, durante los periodos de aguas medias y aguas altas, no se detectaron variaciones dignas de ser destacadas, registrándose un comportamiento similar en ambos estados del río.

Buscando alguna dependencia entre las concentraciones totales de los minerales pesados y algunos de los principales parámetros del río Paraná (caudal y velocidad) para sus distintas situaciones hidrológicas (estado y comportamiento) se hallaron los coeficientes de correlación lineal múltiple, los que señalan la existencia de una correlación directa, medianamente significativa entre las va-

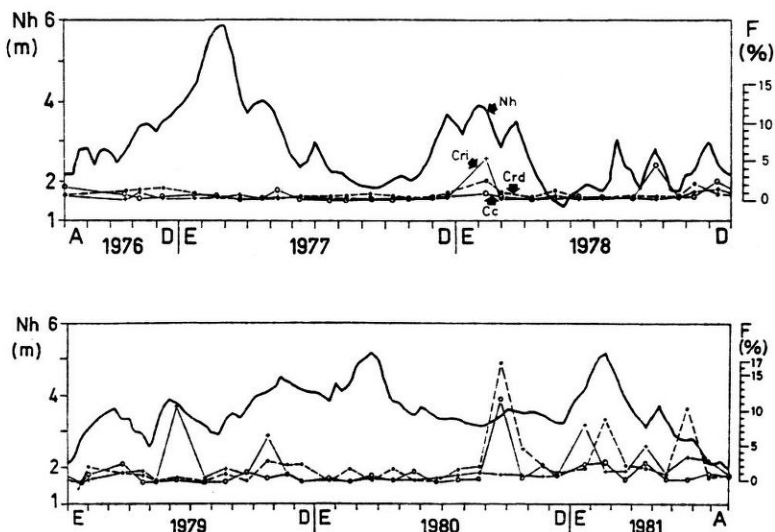


Fig.4. Variación temporal de la concentración de minerales pesados en Ribera Derecha (CRD), Centro del Cauce (CC), Ribera Izquierda (CRI) y Niveles Hidrométricos (Nh) registrados en el hidrómetro del Puerto de Paraná.

riables antedichas. Debe destacarse la situación de aguas altas en creciente que, para la ribera derecha, muestra un coeficiente de 0,97, el más alto obtenido en el período estudiado. Este hecho posibilita inferir una dependencia muy marcada entre la concentración de minerales pesados, el caudal y la velocidad en ese estado particular del río, influenciado además por las características morfométricas y sedimentológicas existentes aguas arriba del punto de muestreo. En esa misma situación, el centro del cauce presenta un comportamiento similar a la ribera derecha, distinguiéndose claramente de la izquierda. Esta tendencia se repite en aguas medias en creciente donde el mayor coeficiente se registra en la margen izquierda mientras que en el centro y en la derecha dichos valores disminuyen notablemente.

Por último, la correspondencia entre las concentraciones de minerales pesados (en las 3 estaciones de muestreo) con los niveles hidrométricos en Paraná (Fig.4) muestra variaciones de un año a otro. Aquella es notable para el período agosto 1977/agosto 1978 y muy irregular en los demás períodos. Respecto a esta última apreciación, resulta valioso pensar en que la distribución espacial de los minerales pesados, soporta la hipotética incidencia de las formas del lecho y su movilidad. A modo ilustrativo puede mencionarse que el río Paraná, en su lecho, presenta dunas de hasta 5 m de altura entre cresta y seno (Drago, 1984 a) las que progresivamente se desplazan aguas abajo a un ritmo que oscila entre 4 y 12 m por día (Amsler com. pers.). Además, debe tenerse en cuenta que las acumulaciones de minerales pesados son diferentes según la región de la duna que se considere (Brady y Jobson, 1973). Sin embargo, pretender un análisis más acabado de este aspecto requeriría efectuar muestreos específicos con una importante inversión de tiempo e infraestructura lo cual no se contempló en este trabajo por no haber formado parte de sus objetivos.

CONCLUSIONES

Si bien durante el período de estudio, se observan variantes en cuanto a la concentración de minerales pesados, éstas se manifiestan dentro de un rango muy limitado y con valores muy pobres. Es oportuno resaltar en este punto, la importancia que adquiere el hecho de que en todo el período estudiado el río no presentó épocas de aguas bajas, circunstancia en la cual está sometido a una situación de tensión y donde es de esperar que se observen variaciones mucho más acentuadas en comparación con los ya mencionados.

La distribución por tamaño de los minerales pesados no varía en forma significativa en relación a la granometría total de los sedimentos de fondo, sobre todo en las riberas ya que para el centro se observa que la frecuencia de partí-

culas de tamaño de arena fina se incrementa cuando se trata de minerales pesados, en desmedro de la de los clastos de diámetros mayores, como la arena media. Este comportamiento tanto para el centro como para las riberas, no se ve afectado en gran medida por los periodos de aguas medias y aguas altas.

En general, en el centro del cauce se percibe una disminución de las concentraciones promedio de minerales pesados durante los periodos de aguas altas cuando, para ese mismo estado del río, en las riberas se produce un aumento en dichos valores. Este fenómeno puede explicarse teniendo en cuenta las variaciones que afectan a la velocidad y al caudal, si se compara el centro con las riberas.

La relación entre las concentraciones de minerales pesados y los niveles hidrométricos durante los 5 años, muestra grandes variaciones de un año a otro debido a la posible incidencia de la dinámica del lecho sobre la distribución de los minerales pesados.

Por último, los registros excepcionales que oscilan aproximadamente entre el 8 y el 17%, indicarían una posible influencia de las dunas existentes en el cauce del río sobre la depositación de sedimentos, circunstancia no considerada en esta oportunidad y que también podría ser objeto de una futura investigación.

AGRADECIMIENTOS

Al personal técnico del INALI especialmente a la Srta. Lucrecia Valdeneau por su ayuda con la computadora como así también al de campaña por la obtención de las muestras empleadas. Al Sr. Walter Reutemann por haber colaborado eficientemente en la separación densimétrica de las alícuotas. Al Dr. Edmundo Chaar y al Prof. Edmundo Drago por la revisión crítica del manuscrito y sus valiosas sugerencias.

REFERENCIAS

- Amsler, M.L. y E.C. Drago. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Características y variaciones temporales de la granometría de los sedimentos suspendidos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (1): 7-21.

- 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.
- Bertoldi de Pomar, H. 1980. Campaña limnológica "Keratella I" en el río Paraná Medio: Sedimentos de fondo. *Ecología* 4: 31-43.
- Bertoldi de Pomar, H. 1984 a. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Caracteres texturales de los sedimentos de fondo. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (1): 57-78.
- Bertoldi de Pomar, H. 1984 b. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Componentes sólidos transportados en suspensión. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (1): 25-46.
- Brady, L.L. & H.E. Jobson. 1973. An experimental study of heavy-mineral segregation under alluvial-flow conditions. *U.S. Geological Survey Profesional Paper 562-K*, Washington, 38 p.
- Copes, C.D. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Carbono orgánico en los sedimentos de fondo. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (2): 109-115.
- Drago, E.C. 1984 a. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Caracteres geomorfológicos e hidrológicos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (1): 1-6.
- Drago, E.C. 1984 b. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Influencia de la composición granométrica de los sedimentos suspendidos sobre la transparencia del agua. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (1): 47-55.
- Drago, E.C. 1984 c. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Temperatura del agua. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (1): 79-92.
- Emiliani, F. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Notas complementarias. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (2): 185-188.

- José de Paggi, S.B. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Distribución estacional del zooplancton. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (2): 135-155.
- Marchese, M. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Zoobentos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (2): 157-174.
- Oldani, N.O. y O.B. Oliveros. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Dinámica temporal de peces de importancia económica. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (2): 175-183.
- Perotti de Jorda, N.M. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Biomasa y productividad del fitoplancton. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (2): 117-133.
- Snedecor, G.W. 1964. Métodos estadísticos. Aplicados a la investigación agrícola y biológica. *Compañía Editorial Continental S.A.*, México D.F., 626 p.
- Vassallo, M.C. y L.A. Kieffer. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: Química del agua. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 15 (2): 97-108.

Recibido /*Received*: 27 de agosto de 1991.
Aceptado /*Accepted*: 9 de junio de 1992.