

## FIJACION DE FOSFORO EN SEDIMENTOS DE FONDO DE LOS RIOS PARANA, PARAGUAY Y BERMEJO

Fernando L. PEDROZO\*, Carlos A. BONETTO\*, Abel RAMOS\* y Ferruccio MINZONI\*\*

**SUMMARY:** Phosphorus sorption in bottom sediments from Paraná, Paraguay and Bermejo rivers.

Phosphorus sorption from solutions containing 0-5 mgP/l was studied in bottom sediments from Paraná, Paraguay and Bermejo rivers. Sorption fitted a Langmuir isotherm with phosphate sorption capacities of 96, 87 and 52  $\mu\text{gP/g}$  (dry weight) sediment. Hietjes and Lijklema (1980) phosphorus fractionation showed that the iron bound phosphate is the main fraction in the Paraná and Paraguay sediments while the calcium bound phosphorus is the main fraction in the Bermejo sediments. Calcium content was high (32 mg/g) in the Bermejo sediments and low (5.5 and 5.3 mg/g) in the Paraná and Paraguay sediments, respectively. The organic matter composition is also different in the three rivers being the Paraná and the Paraguay richer in humic substances. Low phosphorus content and sorption capacity in the three sediments are thought to be related with a granulometry dominated by the coarse fractions. Clay size particles only accounted for 13-23% of the total sediment weight.

### INTRODUCCION

La eutrofización cultural de los cuerpos de agua continentales está vinculada al creciente aporte de nutrientes de origen antrópico en sus cuencas de captación. El fósforo representa, con frecuencia, el elemento limitante de la producción primaria y, por tal motivo, resulta determinante del grado de trofismo. El aumento del fósforo está relacionado, en áreas rurales, con la aplicación masiva de fertilizantes, y en zonas urbanas con el consumo de detergentes y con su elevada concentración en efluentes cloacales y pluviales.

Los sedimentos retienen una fracción variable del fósforo que ingresa a un cuerpo de agua. En ambientes oligotróficos una proporción mayor de la carga es retenida. Conforme aumenta el grado de trofismo el papel de los sedimentos se torna más complejo. Una fracción del fósforo retenido puede ser liberado, produciendo inmediatas consecuencias en la productividad primaria. Flujos de fósforo en la interfase agua-sedimento ocurren en ambas direcciones simultáneamente, si bien, considerando períodos prolongados de tiempo la resultante sería todavía una retención neta (Böstrom *et al.*, 1982). Son bien conocidos algunos ambientes donde una costosa reducción del ingreso de fósforo, lograda a través del tratamiento de residuos cloacales, no redundaron en un mejoramiento de la calidad

\* Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL). C. C. 291, 3400 Corrientes, Argentina.

\*\* Instituto de Ecología, Universidad de Parma, 43100 Parma, Italia.

ECOSUR	Argentina	ISSN 0325-108X	v. 12/13	n. 23/24	págs. 59-68	1985/6
--------	-----------	-------------------	----------	----------	----------------	--------

del agua debido a la liberación de importantes cantidades de fósforo de los sedimentos, fenómeno conocido como "carga interna" (Ryding y Forsberg, 1976; Larsen *et al.*, 1981).

De tal modo, una adecuada caracterización física y química de los sedimentos resulta indispensable para la comprensión y cuantificación del intercambio de fósforo en la interfase agua-sedimento. En el presente trabajo se evalúa la fijación de fósforo en sedimentos de cauce de los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo, y se discute comparativamente los resultados en función de algunas características físicas y químicas de los mismos.

## MATERIALES Y METODOS

Las muestras fueron extraídas con draga Dietz-Lafond en el río Bermejo (Puerto Velaz, Puente de la ruta 11 entre Formosa y Chaco), en el río Paraguay (Gral. Fotheringham, a 10 km antes de recibir al Bermejo) y en el río Paraná (Paso de la Patria, poco antes del punto de confluencia con el Paraguay).

Los experimentos de fijación de fósforo se desarrollaron incubando 2 g de sedimento seco con 50 ml de soluciones 0-0,5-1-2-3-4 y 5 mgP-PO<sub>4</sub>HK<sub>2</sub>/l durante 48 hs. En un experimento preliminar se estudió la cinética de la reacción para cada sedimento, determinando el fosfato en la solución en alícuotas tomadas a los 1, 5, 15, 30 y 60 minutos; 2, 3, 4, 24 y 48 hs. En cada recipiente se agregaron gotas de cloroformo para evitar la actividad biológica (Jacobsen, 1977). La incubación se realizó con agitación ocasional, en oscuridad y a 28°C.

El fósforo reactivo soluble (SRP) se determinó por el método del ácido ascórbico (Golterman *et al.*, 1978) y el fósforo total por digestión ácida con persulfato de potasio y posterior análisis del SRP (Golterman *et al.*, *op cit.*). El calcio se determinó por tratamiento de 1 g de sedimento con 10 ml de HNO<sub>3</sub> conc., en autoclave, durante 2 hs. El digerido se llevó a 100 ml. Una alícuota de 5 ml se analizó con un electrodo de calcio Orion 93-20 y milivoltímetro Mettler.

Para la determinación de hierro se tomaron 200 mg de sedimento (peso seco); se agregó 1 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> conc. y 0,5 ml de HNO<sub>3</sub> conc. Se evaporó hasta sequedad. El procedimiento se repitió hasta que el sedimento se tornó blanco. Se agregó 0,5 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y se calentó hasta la emisión de humo blanco. Se enfrió y agregó agua destilada. Se llevó a 100 ml en matraces aforados. Se dejó decantar una noche y se analizó 1 ml del sobrenadante por el método de la fenantrolina.

El análisis textural del sedimento se llevó a cabo de acuerdo a la técnica propuesta por Ingram (1971) y Galehouse (1971).

El fraccionamiento del fósforo se realizó siguiendo el método preconizado por Hieltes y Lijklema (1980). Diez mg de peso seco se sometieron a dos extracciones consecutivas con 10 ml de NH<sub>4</sub>Cl 1 M en tubos de centrifuga, con agitación, a 20°C. A las dos horas se centrifugó y se

determinó el SRP en el sobrenadante. El sedimento remanente se suspendió en 10 ml de NaOH 0.1 M y se mantuvo en agitación por 17 hs. a 20°C. Posteriormente se centrifugó. El sobrenadante se neutralizó y se determinó el SRP. El sedimento remanente se suspendió en 10 ml de HCl 0.5 M y se sometió a agitación por 24 hs., y posteriormente se centrifugó. El sobrenadante se neutralizó y se determinó el SRP.

El nitrógeno de los sedimentos se fraccionó siguiendo tres tratamientos sucesivos. El primero consistió en una extracción en medio básico, incubándose 2 g de sedimento (peso seco) con 50 ml de OHNa 0.5 N durante 7 días, a temperatura ambiente, con agitación ocasional. El nitrógeno en el sobrenadante fue digerido con una mezcla de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> con Hg<sup>2+</sup> y Ag como catalizadores, en envases herméticos de teflón a 130°C durante 3 hs. El amonio resultante se determinó por destilación y titulación. El sedimento remanente se sometió a un segundo tratamiento con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6N, a 98°C, durante 24 hs. El N del sobrenadante se determinó de igual forma que en el tratamiento anterior. El N remanente en el sedimento fue digerido directamente con 25 ml de la mezcla H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> y el amonio resultante dosado por destilación y titulación.

## RESULTADOS

En la Tabla I se consignan las concentraciones de fósforo en solución para el ensayo de 5 mgP/l, en contacto con sedimentos de cada río, a distintos tiempos de incubación. Los resultados muestran que el proceso de fijación es rápido produciendo una disminución en la concentración de P

**TABLA I**  
Variación en la concentración de P-PO<sub>4</sub> en solución (mg/l), en función del tiempo en sedimentos de los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo.

Tiempo de incubación	Paraná	Paraguay	Bermejo
0	5	5	5
1'	4,23	3,87	4,60
5'	3,77	2,98	4,07
15'	3,26	3,76	4,35
30'	3,82	2,92	4,35
1 hr	3,85	2,77	4,42
2 hr	3,31	2,76	4,25
3 hr	3,20	2,62	4,17
4 hr	3,10	2,63	3,92
24 hr	2,72	2,53	3,77
48 hr	2,76	2,57	3,75

TABLA II

Concentración inicial de fosfato (Ci), cantidad de P absorbida por unidad de peso seco del sedimento (SP) y concentración remanente en solución en equilibrio (Ce) en sedimentos de los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo

Ci mgP/l	PARANA		PARAGUAY		BERMEJO	
	Ce µgP/l	SP µgP/g	Ce µgP/l	SP µP/g	Ce µgP/l	SP µgP/g
0,5	204	7,4	140	9,0	346	3,9
1,0	368	15,8	282	18,0	568	10,8
2,0	852	28,7	704	32,5	1136	21,6
3,0	1388	40,3	1240	44,0	1840	29,0
4,0	1968	50,8	1824	54,4	2755	31,1
5,0	2760	56,0	2576	60,6	3756	31,2

TABLA III

Coefficientes a y b, de correlación (r) y error standard (E.S.) para la isoterma de Freundlich en los sedimentos de los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo.

	PARANA	PARAGUAY	BERMEJO
a	0,28	0,74	0,24
b	0,69	0,58	0,64
r	0,993	0,992	0,94
E.S.	0,09	0,09	0,22

en solución, hasta llegar a una situación de equilibrio en las primeras horas de iniciada la experiencia.

En la Fig. 1 se representa el P fijado en función de la concentración inicial en la solución, en los sedimentos de los tres ríos. Puede apreciarse un comportamiento semejante en los sedimentos de los ríos Paraná y Paraguay. Su fijación se incrementa con la concentración en solución en todo el rango de concentraciones ensayado. La fijación en el sedimento del río Bermejo fue menor, con una tendencia a alcanzar un "plateau" a partir de los 3 mgP/l. En la Tabla II se consigna la concentración inicial de fosfato (Ci), la cantidad de fósforo adsorbida por unidad de peso del sedimento una vez logrado el equilibrio (SP) y la concentración de fósforo remanente en solución en el equilibrio (Ce).

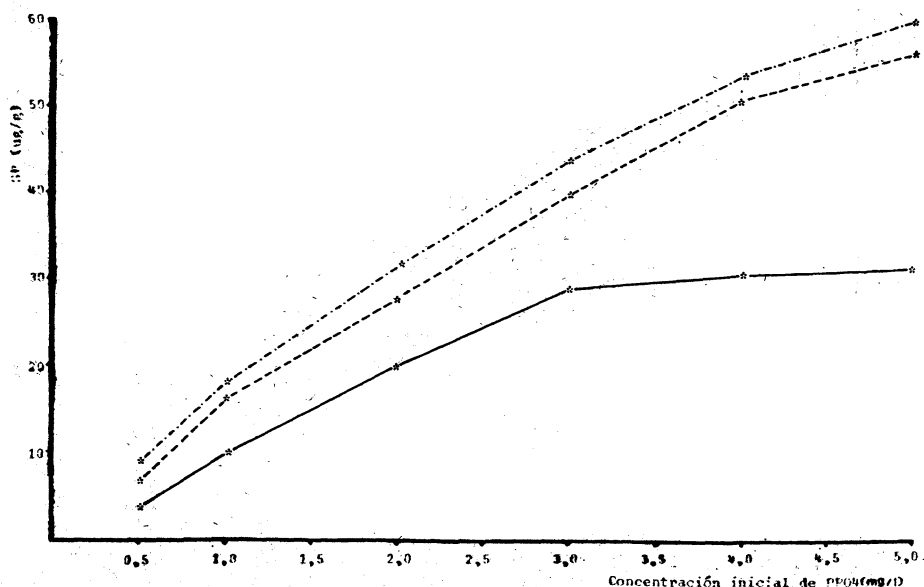


Fig. 1.- Cantidad de fósforo fijada (SP) en función de la concentración inicial en solución, en los sedimentos de los ríos Paraná (---), Paraguay (-.-) y Bermejo (-).

El fósforo fijado (SP) se correlacionó con la concentración de equilibrio respondiendo a una ecuación del tipo:  $SP = a (C_e)^b + PL$ , comunmente referida en la literatura como isoterma de Freundlich, donde  $a$  y  $b$  son constantes y  $PL$ , siguiendo un criterio semejante al de Jacobsen (1977), la cantidad de fósforo liberada por el sedimento cuando es resuspendido en agua destilada. En la Tabla III se consignan los valores de  $a$ ,  $b$ , los coeficientes de correlación y el error standard para los tres sedimentos.

Ambos parámetros también se vincularon a través de la isoterma de Langmuir, de la forma:  $SP = PSC \frac{C_e}{k + C_e} - PL$ , donde  $PSC$  y  $k$  son constantes, representando  $PSC$  la capacidad de adsorción máxima del sedimento. Su forma lineal es:  $\frac{C_e}{SP + PL} = \frac{k}{PSC} + \frac{1}{PSC} C_e$ , y se representa en la Fig. 2. Las constantes, coeficientes de correlación y el error standard se consignan en la Tabla IV. Puede observarse el comportamiento semejante de los sedimentos de los ríos Paraná y Paraguay y su elevado coeficiente de correlación. Los valores estimados para el sedimento del río Bermejo, por el contrario, muestran mayor dispersión en torno a la ecuación. La adsorción máxima ( $PSC$ ) resultó mayor en los primeros, con valores cercanos entre sí ( $96$  y  $87 \mu\text{gP/g}$ , respectivamente) y menor en el último ( $52 \mu\text{gP/g}$ ). Cuando los sedimentos se pusieron en contacto con una solución de  $0.5 \text{ mgP/l}$ , el sedimento del río Paraguay adsorbió un  $70\%$  del fósforo inicialmente en solución; el del río Paraná un  $60\%$ , mientras que los del Bermejo, sólo un  $30\%$ . Cuando los sedimentos se

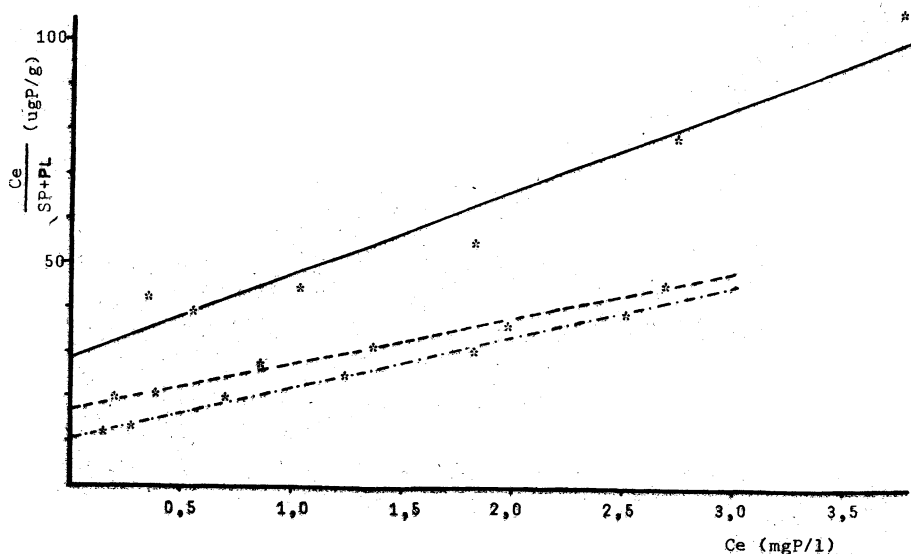


Fig. 2. - Isotermas de Langmuir para los sedimentos de los ríos Paraná (---), Paraguay (-.-.-) y Bermejo (-).

TABLA IV

Adsorción máxima (PSC), constante k, coeficiente de correlación (r) y error standard (E.S.) para la isoterma de Langmuir en sedimentos de los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo.

	PARANA	PARAGUAY	BERMEJO
PSC ( $\mu\text{g/g}$ )	96	87	52
k	1680	951	1511
r	0,995	0,998	0,965
E.S.	1,2	0,83	7,8

suspendieron en agua destilada, liberaron fósforo (PL); las cantidades se consignan en la Tabla V junto con el contenido en P, Ca y Fe de los sedimentos. Puede observarse que el mayor contenido de P correspondió al sedimento del río Bermejo, como así también la mayor cantidad de P liberado. Expresado como porcentaje del P contenido, el sedimento del río Paraguay liberó una fracción mayor mientras que el sedimento del Bermejo liberó una fracción menor del total. Cabe destacar las diferencias en el contenido de calcio en los tres sedimentos: elevado (32 mg/g) en el sedimento del Bermejo, y bajo, semejante entre sí, para los ríos Paraná y Paraguay (5,5 y 5,3 mg/g, respectivamente). En la Tabla VI se consigna el

TABLA V

Fósforo total (PT), fósforo nativo adsorbido (PL) y contenido en Ca y Fe en sedimentos de los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo.

	PARANA	PARAGUAY	BERMEJO
PT ( $\mu\text{g/g}$ )	220,0	210,0	630,0
PL ( $\mu\text{g/g}$ )	2,5 (1,1%)	3,13 (1,5%)	3,7 (0,6%)
Ca (mg/g)	5,5	5,3	32,0
Fe (mg/g)	26,88	13,50	29,13

TABLA VI

Fraccionamiento del fósforo en sedimentos de los ríos Paraná, Paraguay y Bermejo.

	PARANA	PARAGUAY	BERMEJO
P total extraído ( $\mu\text{g/g}$ )	129	194	457
P extraído con $\text{CINH}_4$ ( $\mu\text{g/g}$ )	16 (12%)	19 (10%)	57 (12,5%)
P extraído con $\text{OHNa}$ ( $\mu\text{g/g}$ )	63 (49%)	99 (51%)	57 (12,5%)
P extraído con $\text{HCl}$ ( $\mu\text{g/g}$ )	50 (39%)	76 (39%)	343 (75%)

fraccionamiento del fósforo en los tres sedimentos. En la primera extracción, con  $\text{CINH}_4$  se libera la fracción más lábil por sustitución con el  $\text{Cl}^-$ . No se observaron grandes diferencias en el porcentaje representado por esta fracción en los tres sedimentos. La segunda extracción, con  $\text{HONa}$ , libera el fósforo asociado a hidróxidos de Fe y Al. El porcentaje de fósforo presente en esta fracción resultó elevado en los sedimentos de los ríos Paraná y Paraguay (49 y 51% del total, respectivamente) y bajo en el sedimento del Bermejo (12,5%). Por el contrario, el P extraído en la fracción ácida (ClH) esencialmente vinculados a minerales de Ca (hidroxapatita, fosfato de calcio) resultó máxima en el río Bermejo (75% del total extraído) y mínima en los sedimentos de los ríos Paraná y Paraguay (39% en ambos). En la Tabla VII se consigna el contenido en nitrógeno y fraccionamiento en los tres ríos. Los resultados sugieren diferencias tanto en la cantidad como en la calidad del N presente en cada sedimento.

La extracción en medio básico diluido ( $\text{OHNa}$ ) es el procedimiento más común para el estudio de los compuestos húmicos y fúlvicos del sue-

**TABLA VII**  
**Fraccionamiento del nitrógeno en sedimentos de los ríos**  
**Paraná, Paragúay y Bermejo**

	PARANA	PARAGUAY	BERMEJO
N total extraído ( $\mu\text{g/g}$ )	400	560	540
N extraído con HONa 0,5 N ( $\mu\text{g/g}$ )	230 (58%)	240 (43%)	160 (30%)
N extraído con SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> 3N ( $\mu\text{g/g}$ )	120 (30%)	210 (37%)	230 (42%)
N residual ( $\mu\text{g/g}$ )	50 (12%)	110 (20%)	158 (28%)

**TABLA VIII**  
**Granulometría de los sedimentos de los ríos Paraná, Paraguay**  
**y Bermejo**

	PARANA	PARAGUAY	BERMEJO
Arena (%)	70,4	66,5	0,40
Limo (%)	16,3	15,7	76,2
Arcilla (%)	13,3	17,3	23,4

lo (Hayes y Swift, 1978), mientras que la hidrólisis ácida representa el procedimiento tradicional para el estudio de compuestos proteicos (proteínas, polipéptidos, aminoácidos) del suelo (Bremner, 1965). Los resultados sugieren el predominio de la fracción húmica en el N de los sedimentos de los ríos Paraná y Paraguay y el predominio de la fracción proteica en el sedimento del Bermejo. La composición granulométrica de los sedimentos se consigna en la Tabla VIII. Cabe destacar la baja proporción de arcillas en los mismos, siendo mayor en el sedimento del río Bermejo (23%) y menor en los sedimentos del Paraná y Paraguay (13 y 17% respectivamente).

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Los sedimentos de los ríos Paraná y Paraguay mostraron mayor fijación que el sedimento del río Bermejo. Inversamente, la concentración de fos-



fato en el agua, es menor en los primeros y mayor en el último (Bonetto, 1982). El fraccionamiento del fósforo en los tres sedimentos mostró la preeminencia del sistema del hierro en los sedimentos de los ríos Paraná y Paraguay, y la del sistema del calcio en el río Bermejo.

Los resultados obtenidos son coincidentes con las referencias bibliográficas (Weir y Soper, 1962; Jacobsen, 1977; Syers *et al.*, 1973; Williams *et al.*, 1976). Shulka *et al.* (1971) observaron que sedimentos calcáreos fijan menos fósforo que sedimentos no calcáreos. La capacidad de fijación se correlacionaba con la cantidad de hierro extraída con oxalato de amonio, tratamiento que según dichos autores extrae el hierro amorfo. Los autores postularon que el principal componente de los sedimentos responsable de la fijación de fósforo sería un gel complejo formado por óxidos de hierro hidratados, materia orgánica y pequeñas cantidades de  $Al_2O_3$  y  $Si(OH)_4$ . Según Böstrom *et al.* (1982) la materia orgánica por sí sola no tendría capacidad de fijación. La retención de fósforo se vincularía a la formación de complejos con metales. La asociación de ácidos húmicos con el sistema del hierro le confieren al complejo una gran capacidad de fijación. Elevadas concentraciones de calcio producirían una sustitución de hierro por calcio en el complejo, disminuyendo la retención (Böstrom *et al. op cit.*). El predominio de las fracciones húmicas en los sedimentos de los ríos Paraná y Paraguay contribuye a aumentar su fijación por asociación con coloides de hierro. Por el contrario, la menor importancia relativa de la fracción húmica y los elevados tenores de calcio disminuyen la fijación en los sedimentos del Bermejo.

De forma análoga, puede interpretarse la influencia de las arcillas. Hall y Baker (1971) mostraron como la fijación de fósforo a vermiculita y montmorillonita variaron en sentidos opuestos con el agregado de aluminio a la solución. Edzwald *et al.* (1976) concluyeron que la adsorción de P a las arcillas se debía en gran proporción a la interacción con metales asociados a la superficie de las mismas, en particular Fe y Ca, observando relación entre el hierro extractable y la capacidad de fijación en caolinita, montmorillonita e illita.

Cabe destacar finalmente que tanto el contenido en fósforo como la capacidad de fijación en los sedimentos de los tres ríos estudiados es baja cuando se los compara con el rango de valores referidos en la literatura (Golterman 1973, 1977 y 1980; Jacobsen, 1977 y Meybeck, 1982, Böstrom *et al.*, 1982). A estar de la información disponible, tal característica se debería a la textura gruesa de los mismos. La fracción menor de 4  $\mu m$  representó entre el 13 y el 23% del total. El bajo tenor de fósforo en los tres sedimentos estudiados resulta igualmente expresivo del bajo nivel de contaminación antrópica de los ríos en las zonas de muestreo.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Argentino A. Bonetto, al Prof. J. J. Neiff y al Lic. C. Patiño sus valiosas sugerencias. A los Sres. Luis Benetti y Nicolás Roberto la toma de muestras. Al Lic. Oscar Orfeo la determinación de la granulometría de los sedimentos.

## BIBLIOGRAFIA

- BONETTO, C. A., 1982. *Producción primaria del fitoplancton, concentración de pigmentos, materia orgánica y nutrientes, en la caracterización limnológica de los cuerpos de agua regionales del Nordeste argentino*. Tesis doctoral, Fac. Cs. Exactas y Nat. Univ. Bs. As. (Argentina), 185 págs.
- BOSTROM, B., JANSSON, M. y FORSBERG, C., 1982. P release from lake sediments. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, 18: 5-59.
- BREMNER, J. M., 1965. Organic forms of Nitrogen, págs. 1239-1255. En: *Methods of Soil Analysis*. Part II. Capit. 85. Am. Soc. Agronomy. Madison. Wisconsin.
- EDZWALD, J. K., TOENSING, D. C. y CHI-YEW LEUNG, 1976. Phosphate adsorption reactions with clay minerals. *Environm. Sci. Techn.*, 10 (5): 485-490.
- GALEHOUSE, J. S., 1971. Sedimentation analysis. Págs.: 69-94. En: (Carver, R. E., ed.). *Procedures in sedimentary petrology*. Wiley, London.
- GOLTERMAN, H. L., 1973. Natural phosphate sources in relation to phosphate budgets: a contribution to the understanding eutrophication. *Water Res.*, 7: 317.
- GOLTERMAN, H. L., 1977. Forms and sediment associations of nutrients, pesticides and metals. I: nutrients-P. Págs.: 157-159. En: (Shear y Watson, eds.). *The fluvial transport of sediments. Associated nutrients and contaminants*. Internat. Joint. Comission. Ontario. 307 págs.
- GOLTERMAN, H. L., 1980. Phosphate models, a gap to bridge. *Hydrobiologia*, 72: 61-71.
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. y OHNSTAD, M., 1978. *Methods for chemical analysis of freshwaters*. IBP Handbook N. 8. Blackwell, London, 156 p.
- HALL, J. K. y BAKER, D. E., 1971. P fixation by montmorillonite and vermiculite clays as influenced by pH and soluble aluminium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35: 876-880.
- HAYES, F. R. y SWIFT, A., 1978. The chemistry of soil organic colloids. Págs.: 179-321. En: (Greeland y Hayes, eds.). *The chemistry of soil constituents*. Wiley, N.Y., 469 págs.
- HIELTJES, A. H. y LIJKLEMA, L., 1980. Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments. *J. Environm. Qual.*, 9 (3): 405-407.
- INGRAM, R. L., 1971. Sieve analysis. Págs. 49-68. En: (Carver, R. E., ed.). *Procedures in sedimentary petrology*. Wiley, London.
- JACOBSEN, O. S., 1977. Sorption of phosphate by Danish Lakes sediments. *Vatten*, 3: 290-297.
- LARSEN, K.; SHULTS, L. y MALNEG, A., 1981. Summer internal phosphorus supplies in Shagawa Lake, Minnesota. *Limnol. Oceanogr.*, 26 (4): 740-754.
- MEYBECK, M., 1982. C, N and P transport by world rivers. *Am. J. Sci.*, 282: 401-450.
- OLSEN, S., 1964. Phosphate equilibrium between reduced sediments and water: laboratory experiments with radioactive phosphorus. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 15: 333-341.
- RYDING, S. O. y FORSBERG, C., 1976. Sediments as a nutrients sources in shallow polluted lakes. En: (Golterman, H. L., ed) *Interactions between sediments and freshwater*. Junk, The Hague, pp: 227-235.
- SHULKA, S. S.; SYERS, J. K.; WILLIAMS, J. D. M.; ARMSTRONG, D. E. y HARRIS, R. F., 1971. Sorption of inorganic P by lake sediments. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 35: 244-249.
- SYERS, J. K.; HARRIS, R. F. y ARMSTRONG, D. E., 1973. Phosphate chemistry of lake sediments. *J. Environm. Q.*, 2 (1): 1-14.
- WEIR, C. C. y SOPER, R. J., 1962. Adsorption an exchange studies of P in some Manitoba soils. *Can. Journ. Soil Sci.*, 42: 31-42.
- WILLIAMS, J. D. H.; JAQUET, J. M. y THOMAS, R. L., 1976. Forms of P in surficial lakes sediments. *Can. J. Fish. Res. Board.*, 33: 413-429.