

# MUESTREO INTENSIVO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EN DOS SITIOS DE LA CUENCA INFERIOR DEL RÍO SALADO (PROVINCIA DE BUENOS AIRES): ESTUDIO COMPARATIVO<sup>1</sup>

K. QUAINI<sup>2</sup>; N. GABELLONE<sup>3</sup>; M. ARDOHAIN<sup>4</sup> & L. SOLARI<sup>4</sup>

*Instituto de Limnología "Dr. R.A. Ringuelet"*

*Av. Calchaquí km 23,5 (1888) Florencio Varela, Buenos Aires. karina@ilpla.edu.ar*

## ABSTRACT

Dredging works in several sectors of Salado River are probably the most important activity of disturbance in a pampean aquatic ecosystem, with implications in a RAMSAR site (Samborombón Bay). The interventions are taking place in the lower basin and considered as a reference of disturbance for future and major works as the dredging of almost 100 km of the Salado River main channel. Physical and chemical conditions were analysed in two sectors: upstream (El Destino, ED) and downstream (Guerrero, G) of La Postrera. This study was done before and during the extraction of a river restriction and the old bridge replacement. Samples were collected during 18 weeks (3/04-7/04) (2 or 3 times/week). Each sample was the result of the water sample integration on a transversal transect of the stream. The physical and chemical parameters measured «in situ» were: pH, conductivity, turbidity, dissolved oxygen, temperature and salinity. Fractions of phosphorus and suspended solids were analysed. The simulation of different sampling frequencies showed that variables related to physic environment (temperature, conductivity and pH) can be explained by monthly and biweekly sampling. On the other hand, the main variations of total phosphorus, suspended solids and turbidity can be only explained by the daily sampling. Suspended solids concentration was higher upstream (mean: 0.12 g.L<sup>-1</sup>) than downstream (mean: 0.10 g.L<sup>-1</sup>). Maximum mean phosphorus concentration values were reached at ED. Soluble reactive phosphorus concentrations were similar at both river sectors (305.81 and 307.08 µg.L<sup>-1</sup> in ED and G, respectively). Conductivity diminished from 6,770 to 2,530 µS.cm<sup>-1</sup> due to the discharge increase. Total particulate phosphorus, suspended solids and turbidity increased at ED and diminished at G. The dredging works in moments of low waters, and taking care of the extracting material location, as recommended the environmental management techniques, did not affect sediment transport through the river. The phosphorus concentration differences between both river sectors could be by the settlement processes in La Tigra Lake and the availability of this nutrient to the phytoplankton and macrophytes.

**Key words:** intensive sampling, physical and chemical parameters, suspended solids, hydraulic works, lower basin of Salado River.

## INTRODUCCIÓN

La concentración de nutrientes en un río puede aumentar debido a la aplicación irracional de agroquímicos, al lavado, a la erosión hídrica que

sufren los suelos, así como al transporte de nutrientes por parte del río. El enriquecimiento en nutrientes debido a las actividades humanas puede degradar la calidad del agua y perturbar el balance y crecimiento de especies

<sup>1</sup> Contribución Científica N° 793 del Instituto de Limnología "Dr. R. A. Ringuelet"; <sup>2</sup> ANPCyT; <sup>3</sup> CONICET; <sup>4</sup> UNLP

en muchos ríos de llanura (Vandijk *et al.*, 1994; Jarvie *et al.*, 1998; Young *et al.*, 1999; Jarvie *et al.*, 2002; Liu *et al.*, 2003). El río es la principal fuente de transporte de elementos disueltos y en suspensión desde el continente al mar con influencia directa sobre la producción del fitoplancton (Liu *et al.*, 2003). La heterogeneidad del flujo y los mecanismos de retención del río otorgan mayores oportunidades para el desarrollo de los organismos planctónicos en los ríos (Margalef, 1983; Reynolds & Descy, 1996). Estudios recientes realizados en la cuenca inferior del río Salado, más precisamente la vinculación del cauce principal con cuerpos de agua lénticos asociados (backwater pond) y sobre el mismo cauce (flushing-lake), demostraron la importancia del transporte y los aportes de fósforo y sólidos suspendidos sobre la dinámica del plancton (Gabellone *et al.*, 2001; Solari *et al.*, 2002). Asimismo, en estudios regionales de la cuenca se evidenciaron concentraciones de fósforo más elevadas en la cuenca superior debido a los aportes ocasionados por la actividad agrícola y vinculados a las condiciones hidrológicas del río (Neschuk *et al.*, 2000; Neschuk, 2001; Gabellone *et al.*, 2001; Gabellone *et al.*, 2003). El estudio de los sólidos disueltos totales y los efectos de las obras hidráulicas en la cuenca inferior fueron tratados por Conzonno *et al.* (2001).

El dragado puede provocar un infrecuente transporte de sedimentos a la bahía Samborombón (sitio Ramsar), una importante zona ecotonal entre sistemas terrestres, costeros, marinos y de agua dulce que sostiene una importante biodiversidad.

Se considera que de acuerdo a la frecuencia de muestreo establecida las variaciones de algunos parámetros pueden no ser detectadas en relación a las características propias de la variable. El transporte de nutrientes (disueltos o particulados), y de sólidos en suspensión pueden ser buenos indicadores de los distintos usos del suelo y

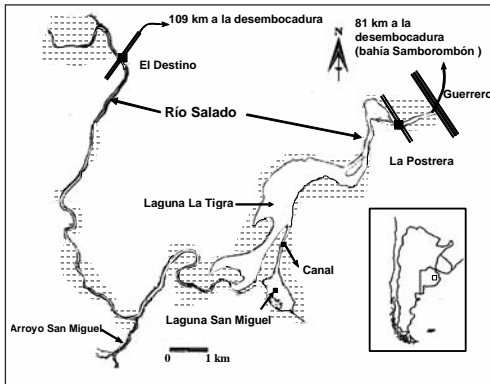
de las obras hidráulicas que se realizan en una cuenca. La variabilidad de estos últimos parámetros se considera que puede ser elevada en breves períodos (días) y que su correcta estimación requiere ajustes en la frecuencia de muestreo (Underwood, 1996), sobre todo cuando el objetivo es evaluar el impacto de obras hidráulicas

El objetivo de este trabajo fue estimar, a través de la comparación de las variaciones de formas particuladas y disueltas de fósforo, concentración de sólidos en suspensión, oxígeno disuelto, pH, turbidez y conductividad, las diferencias entre dos sitios del río Salado, el efecto de diferentes frecuencias de muestreo y el disturbio producido por obras hidráulicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El río Salado es un típico río de llanura y el río autóctono más importante de la provincia de Buenos Aires. Recorre una de las zonas agroganaderas más relevante del país y tiene influencia sobre 50 partidos de la provincia. La superficie de su cuenca es de 140.000 km<sup>2</sup> (incluyendo los trasvases de áreas endorreicas), la longitud de 571 km y una suave pendiente (promedio: 0,107 m.km<sup>-1</sup>). Su régimen hidrológico es muy variable con cambios en el caudal desde 100 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (períodos secos) hasta 1.500 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (períodos húmedos). El clima de la región es templado húmedo y la precipitación media anual 899 mm (promedio desde 1952 hasta 1997) (Plan Maestro Integral cuenca del río Salado, 1999).

El área de estudio comprende dos sitios ubicados en la cuenca inferior: El Destino (ED) aguas arriba y Guerrero (G) aguas abajo del puente La Postrera, donde se está realizando la remoción de una restricción del río y el reemplazo del antiguo puente. El Destino (35° 57' S; 58° 01' W) está situado a 462 km de las nacientes y a 109 km aguas arriba de la desembo-



**Figura 1.** Área de estudio con la ubicación de las estaciones de muestreo.

cadura. Este sector recibe agua de lagunas encadenadas localizadas en la margen izquierda y constituye el comienzo de la cuenca inferior. En este sector el río tiene 114 m de ancho y 3,8 m de profundidad media, pudiendo alcanzar una profundidad de 8,7 m durante períodos de inundación. Guerrero (35° 59' S; 57° 51' W) está localizado en la Ruta Nacional N°2, a 28 km de El Destino, a 81 km de la desembocadura y aguas abajo de la laguna La Tigra. Tiene 100 m de ancho y un caudal medio de  $377 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Recibe aportes de la laguna San Miguel y del arroyo San Miguel (efluente de la laguna San Lorenzo) y de las lagunas Camarones Grande y Chica, y la influencia del estuario del Río de la Plata por su cercanía a la desembocadura (zona ganadera). El puente La Postrera es un importante lugar de referencia histórica y natural de la región y está localizado a 25 km de ED, aguas abajo de la laguna La Tigra y a 84 km de la desembocadura. El río, en este sector, tiene 100 m de ancho y un caudal medio de  $377 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Plan Maestro Integral cuenca del río Salado, 1999) (Figura 1).

El muestreo se realizó entre dos y tres veces por semana durante 18 semanas desde Marzo/2004 hasta Julio/2004, lo que resultó en un total de 42 muestras para cada sitio (8 muestras antes del comienzo de las

obras y 76 posteriores a las mismas). Por otro lado, cada muestra fue el resultado de la integración (1000 ml) de tres muestras (de 330 ml cada una) obtenidas de manera equidistante sobre una transecta transversal al cauce. En cada punto de la transecta se realizaron mediciones «in situ» de pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y temperatura por medio de un sensor múltiple Horiba U-10. Las muestras se conservaron en envases de plástico a 4°C hasta su posterior análisis. En el laboratorio se analizaron los sólidos en suspensión y distintas fracciones de fósforo: fósforo total (PT), fósforo total disuelto (PTD), fósforo total reactivo soluble (PTRS) y fósforo reactivo soluble (PRS). Para las formas disueltas las muestras fueron filtradas con filtros Sartorius GF13400 /47. Para las formas totales se realizó una digestión con persulfato de potasio y ácido sulfúrico (APHA, 1995). Para la estimación de los sólidos en suspensión se utilizó el método 2540 D (APHA 1995). Para comparar los parámetros físico-químicos analizados entre ambos sitios de muestreo se utilizó un test de «t» ( $p < 0,05$ ).

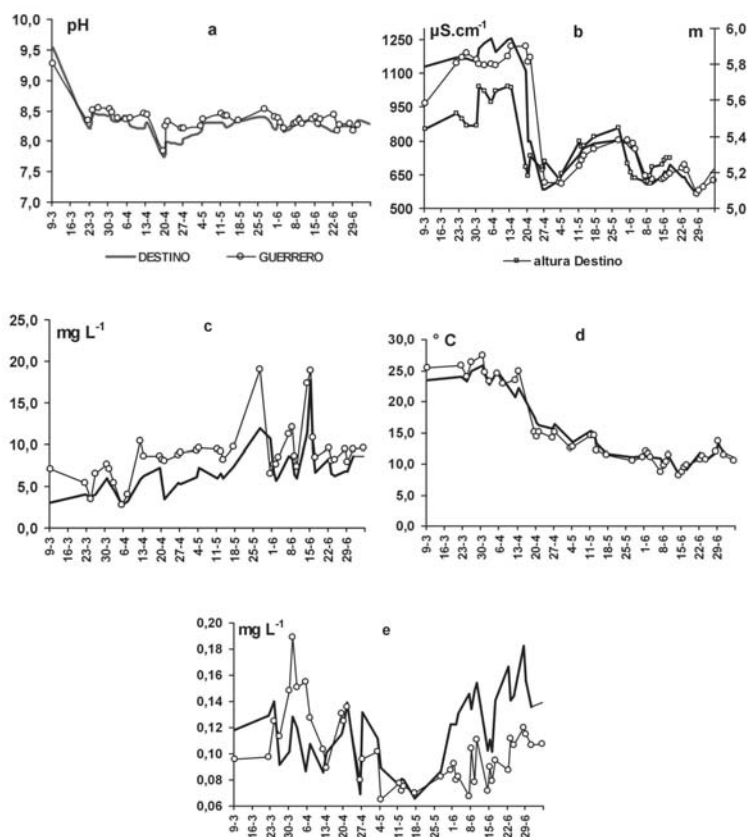
Para el análisis comparativo de representatividad de diferentes frecuencias de muestreo para las variables analizadas se utilizaron los datos originales y se establecieron sobre los mismos datos, frecuencias simuladas quincenales y mensuales. Cuando se hace referencia en el texto o en figuras y tablas a los datos originales se los denomina diarios.

## RESULTADOS

Los valores de pH se ubicaron dentro de un rango alcalino, en ED varió entre 7,73 y 9,53 y en G entre 7,84 y 9,27, disminuyendo en ambos sitios hacia fines de abril y aumentando luego ligeramente sin alcanzar los valores iniciales. Las curvas de pH no mostraron diferencias significativas

entre ambos sitios (Figura 2 a). La conductividad promedio para ED fue de  $8.266 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  y de  $8.322 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para G. Hacia fines de abril disminuyó bruscamente (de  $12.530$  a  $5.830 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  en ED y  $12.200$  a  $6.770 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  en G) en un período de 13 días, relacionado con un aumento de caudal (expresado en altura desde el puente hasta el pelo de agua) (Figura 2 b). Las diferencias de conductividad entre ambos sitios no fueron significativas. Con respecto al oxígeno disuelto (OD) el promedio fue de  $6,72 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  para ED y  $8,88 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  para G y se observaron diferencias significativas entre ambos sitios con un paulatino aumento hacia el invierno (Fig. 2 c). La temperatura máxima se registró el 30/3 ( $27,5^\circ\text{C}$  en G y  $25,8^\circ\text{C}$  en ED) y la mínima el 14/6 ( $8,17^\circ\text{C}$  en G y  $8,3^\circ\text{C}$  en ED)

con un rango de  $17,47$  en ED y  $19,33^\circ\text{C}$  en G con una disminución diaria de  $0,14$  y  $0,16^\circ\text{C}$  respectivamente (Figura 2 d). Al principio del muestreo los valores de turbidez fueron mayores en G que en ED (G:  $370 \text{ NTU}$ ; ED:  $184 \text{ NTU}$ ), similares el resto del tiempo y mayores en ED hacia el final del período de muestreo (ED:  $377 \text{ NTU}$ ; G:  $214 \text{ NTU}$ ). Los valores promedio de turbidez para ED y G fueron de  $243$  y  $223 \text{ NTU}$  respectivamente sin diferencias significativas. La tendencia de los cambios en concentración de sólidos en suspensión (SS) fue similar a la descrita para la turbidez. El valor promedio de SS para ED fue de  $0,12$  y de  $0,10 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$  para G, con un rango de  $0,116$  para ED y de  $0,124 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$  para G (Figura 2 e). Las diferencias en la concentración de SS entre ambos sitios



**Figura 2.** Variación de los algunos parámetros físico-químicos en El Destino (ED) y en Guerrero (G): a: pH; b: conductividad y altura al guardarueda; c: temperatura; d: oxígeno disuelto; y e: sólidos en suspensión.

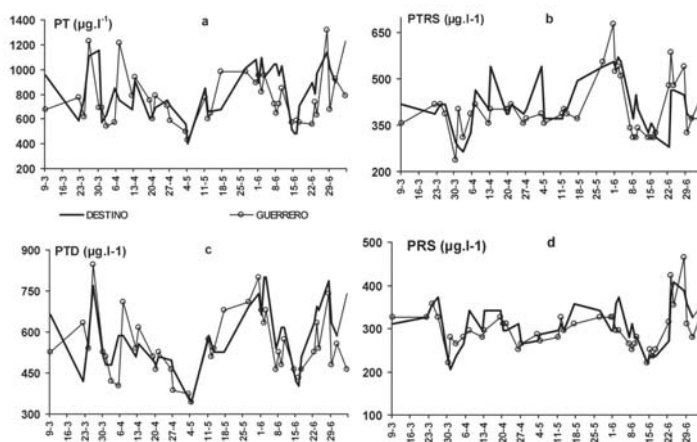
fueron significativas, correspondiendo los mayores valores a ED.

Las concentraciones de las fracciones de fósforo que incluyen material particulado (PT y PTRS) fueron la mayor parte del tiempo superiores en ED. El promedio de PT para ED fue de 818,6 y 756  $\mu\text{g.l}^{-1}$  para G y para PTRS 414,8 y 402,5  $\mu\text{g.l}^{-1}$  respectivamente, con diferencias significativas entre ambos sitios sólo en el primer caso (Figura 3 a y b). Las formas disueltas resultaron similares en ambos sitios de muestreo (promedios: PTD 573,2

para ED y 548,6  $\mu\text{g.l}^{-1}$  para G, PRS 305,81 y 299,8  $\mu\text{g.l}^{-1}$  para ED y G, respectivamente) sin diferencias significativas entre ambos lugares (Figuras 3 c y d).

Las diferencias en el promedio y la desviación estándar en cuanto a distintas frecuencias de muestreo realizadas sobre los datos obtenidos, muestran diferencias de acuerdo a qué variables se trate (Tabla 1).

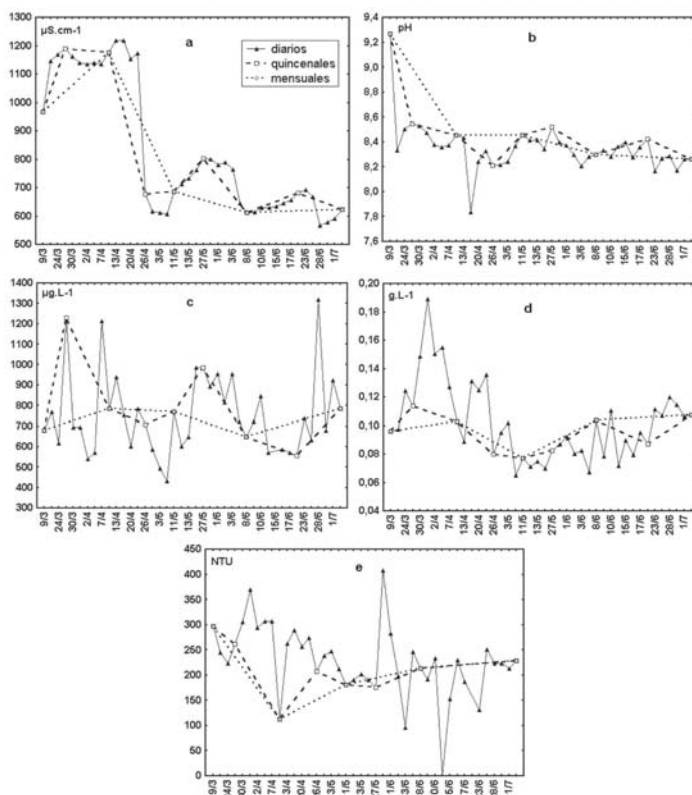
Las menores variaciones se observaron en ED para el pH con un promedio de datos diarios de 8,28,



**Figura 3.** Variación de las diferentes fracciones de fósforo en El Destino (ED) y en Guerrero (G): a: fósforo total (PT); b: fósforo total reactivo soluble (PTRS); c: fósforo total disuelto (PTD) y d: fósforo reactivo soluble (PRS).

**Tabla 1.** Media (M), Desvío estándar (D.S.) y Rango para cinco variables en tres frecuencias de muestreo diferentes: diaria (D), quincenal (Q) y mensual (M).

	El Destino				Guerrero			
	Frec. de muestreo	M	D.S.	Rango	Frec. de muestreo	M	D.S.	Rango
Conduct. ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ )	D	826,63	244,84	697,67	D	832,24	238,66	653,33
	Q	846,30	261,63	666,67	Q	824,30	230,38	578,33
	M	885,07	284,10	618,33	M	813,33	248,89	565,00
pH	D	8,28	0,24	1,80	D	8,35	0,19	1,43
	Q	8,40	0,44	1,58	Q	8,49	0,31	1,06
	M	8,53	0,56	1,32	M	8,55	0,41	1,01
PT ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ )	D	818,60	213,21	825,77	D	756,76	198,51	886,94
	Q	947,17	173,59	550,51	Q	794,32	201,35	672,52
	M	951,01	206,98	550,51	M	733,87	65,42	137,63
SS ( $\text{g.l}^{-1}$ )	D	0,12	0,02	0,12	D	0,10	0,03	0,12
	Q	0,11	0,03	0,10	Q	0,09	0,01	0,04
	M	0,11	0,03	0,06	M	0,10	0,01	0,03
Turbidez (NTU)	D	243,02	108,75	663,33	D	228,51	71,69	408,67
	Q	232,41	109,60	1,59	Q	186,33	87,47	297,00
	M	249,00	126,97	355,67	M	206,53	67,40	184,00



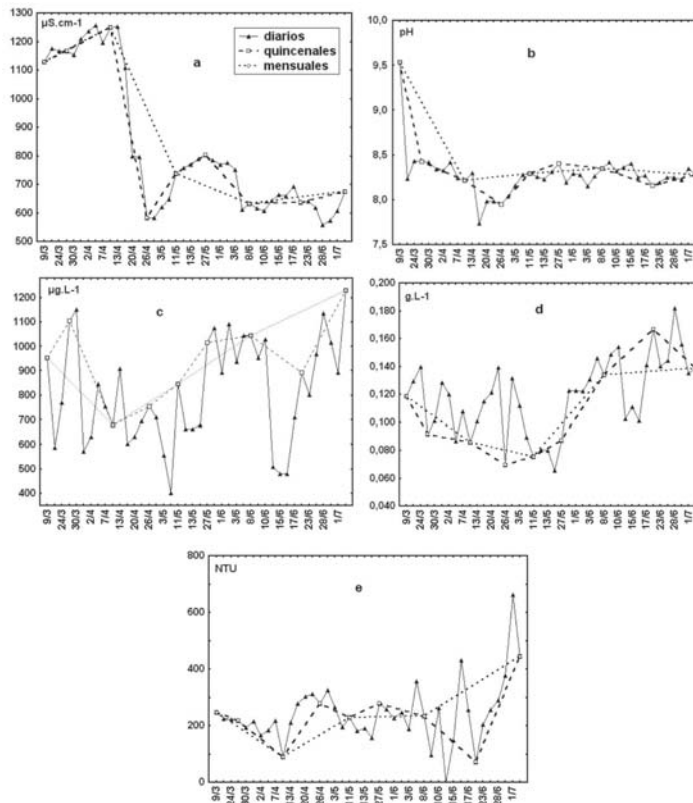
**Figura 4.** Variación de algunos parámetros físico-químicos en Guerrero (G) para muestréos diarios (línea entera), quincenales (línea quebrada) y mensuales (línea punteada): a: conductividad; b: pH; c: fósforo total; d: sólidos en suspensión y e: turbidez.

quincenales de 8,40 y mensuales de 8,53 y con una mínima variación en el desvío estándar. En el PT se observa la mayor variación con una media diaria de 818,6, quincenal de 947,17 y mensual de 951,01  $\mu\text{g.l}^{-1}$  con marcadas diferencias en el desvío estándar a medida que disminuye la frecuencia de la obtención de muestrás. En G tanto para la concentración de PT, SS y turbidez, los muestréos quincenales y mensuales no registraron los máximos y mínimos (Figura 4 c, d y e) subestimando claramente el rango, sin embargo para variables como conductividad y pH, los datos quincenales hacen una descripción muy ajustada con respecto a los datos diarios, no así los mensuales (Figura 4 a y b). En ED, ocurre lo mismo que en G para la conductividad y pH, y

también lo mismo para los SS y turbidez, sin embargo para el PT la curva muestra los máximos pero no los mínimos cuando la frecuencia de muestreo es quincenal o mensual (Figura 5 a-d).

## DISCUSIÓN

El efecto de la utilización de diferentes frecuencias de muestreo separa claramente aquellas variables que responden principalmente a condiciones del ambiente físico, como la temperatura, la conductividad y el pH, donde un muestreo con frecuencia quincenal e incluso mensual registra las principales variaciones en estos parámetros. No sucede lo mismo con el PT, los sólidos suspendidos y la turbidez, donde las oscilaciones en el



**Figura 5.** Variación de algunos parámetros físico-químicos en El Destino (ED) para muestreos diarios (línea entera), quincenales (línea quebrada) y mensuales (línea punteada): a: conductividad; b: pH; c: fósforo total; d: sólidos en suspensión y e: turbidez.

muestreo mensual e incluso el quincenal no reflejan las del muestreo diario. Las distintas estrategias de muestreo demostraron que justamente aquellos parámetros íntimamente relacionados a los efectos de la eutrofización del río y el transporte de sedimentos (Vandijk *et al.*, 1994; Jarvie *et al.*, 1998; Young *et al.*, 1999; Jarvie *et al.*, 2002; Liu *et al.*, 2003) son sub o sobrestimados con bajas frecuencias de muestreo. Esto es de gran importancia si se tiene en cuenta el evidente aumento en la concentración de fósforo registrado en los últimos años en la cuenca superior del río Salado, debido a los aportes de la actividad agrícola y a las condiciones hidrológicas del río (Neschuk *et al.*, 2000; Neschuk, 2001; Gabellone *et al.*, 2001; Gabellone *et al.*, 2003). Asimismo debe destacarse que la concen-

tración de este nutriente es fundamental en la dinámica del fitoplancton. (Gabellone *et al.*, 2001; Solari *et al.*, 2002).

Las consecuencias del disturbio causado por las obras hidráulicas realizadas en La Postrera no fueron las esperadas ya que la concentración de sólidos en suspensión y las formas particuladas de fósforo fueron menores aguas abajo que aguas arriba. Esto se debió probablemente a la forma del cauce, con la presencia de la laguna La Tigra (flushing-lake), situada entre ED y G, que es un área de menor energía con zonas muertas (dead zones), importantes en la regulación del transporte de sedimentos y, que a su vez, permiten el mayor desarrollo del plancton en esos sectores (Reynolds, 1995) con una consecuente disminu-

ción de las formas particuladas de fósforo (Solari *et al.*, 2002) y la reducción de las tasas de exportación aguas abajo.

Las obras hidráulicas que se están llevando a cabo en el cauce del río Salado ofrecieron una oportunidad única de monitorear ciertos parámetros físico-químicos del agua del río durante distintos periodos de intervención antrópica. Los resultados aquí obtenidos permitirán recomendar pautas de manejo durante el dragado de mayor envergadura previsto para otros sitios del mismo río o para otros cursos de agua naturales y/o artificiales.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ingeniero Marcos Sala y al Técnico Christian Martínez de la empresa Construere S.A. por la cooperación en la toma de muestras y al Ingeniero Mario Borges por su iniciativa en el desarrollo de estudios ambientales en La Postrera. Se agradece al revisor anónimo del manuscrito sus valiosas sugerencias.

### BIBLIOGRAFÍA

- APHA.** 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th Ed. APHA, Washington, D.C. 1550 p.
- Conzonno, V. H.; P. Miretzky & A. Fernández Cirelli.** 2001. The impact of man-made hydrology on the lower stream bed of the Salado River drainage basin (Argentina). *Environ. Geol.* 40: 968-972.
- Gabellone, N. A.; L. C. Solari & M. C. Claps.** 2001. Planktonic and physical-chemical dynamics of a markedly fluctuate backwater pond in a plaine basin (Salado river, Buenos Aires, Argentina). *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 6 (2): 133-142.
- Gabellone, N. A.; R. Sarandón y M. C. Claps.** 2003. Caracterización y zonificación ecológica de la cuenca del río Salado. En: Maiola, O; N. Gabellone y M. Hernández (eds.): Inundaciones en la región Pampeana. Editorial de la UNLP, La Plata. 87-122.
- Jarvie, H.P.; B.A. Whitton & C. Neal.** 1998. Nitrogen and phosphorus in east coast British rivers: speciation sources and biological significance. *Sci. Total Environ.* 210-211: 79-110.
- Jarvie, H. P.; C. Neal; R. J. Williams; M. Neal; H. D. Wickham; L. K. Hill; A. J. Wade; A. Warwick & J. White.** 2002. Phosphorus sources, speciation and dynamics in the lowland eutrophic River Kennet, UK. *Sci. Total Environ.* 282-283: 175-203.
- Liu, M. S.; J. Zhang; H.T. Chen; Y. Wu & Z. F. Zhang.** 2003. Nutrients in the Changjiang and its tributaries. *Biogeochemistry* 62: 1-18.
- Margalef, R.** 1983. Limnología. Ed Omega, Barcelona. 1022p.
- Neschuk, N.; N. A. Gabellone y M. C. Claps.** 2000. Caracterización espacial del río Salado (Buenos Aires) a partir de concentraciones de fósforo total. *Diversidad y Ambiente* 1: 13-19.
- Neschuk, N. C.** 2001. Limnología del río Salado (Buenos Aires) y el uso de la tierra en su cuenca. Tesis Doctoral. Fac. Cs. Nat. y Museo, UNLP.
- Plan Maestro Integral Cuenca del Río Salado.** 1999. Informe Situación Base. Sir William Halcrow & Partners Ltd. para el Ministerio de Economía, Unidad Ejecutora Provincial, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Volumen Principal.
- Reynolds, C.S.** 1995. River plankton: the paradigm regained. En: Harper, D.M. & A.L. Ferguson (eds.): *The ecological basis for river management*: John Wiley & Sons. 161-173p.
- Reynolds, C.S. & J.P. Descy.** 1996. The production, biomass and structure of phytoplankton in large rivers. *Arch. Hydrobiol. Suppl. large rivers.* 113 (1-4): 161-187.
- Solari, L. C.; M. C. Claps & N. Gabellone.** 2002. River backwater pond interactions in the lower basin of the Salado River (Buenos Aires, Argentina). *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 141 (1/2): 99-119. *Large Rivers* 13 (1/2).
- Underwood A. J.** 1996. Spatial and temporal problems with monitoring. En: Petts, G & P. Callow (eds). *River restoration*. Blackwell. 182-204p.
- Vandijk, G. M.; L. Vanliere; W. Admiraal; B. A. Bannink & J. J. Cappon.** 1994. Present state of water-quality of European rivers and implications for management. *Sci. Total Environ.* 145 (1-2): 187-195.
- Young, K.; G. K. Morse; M. D. Skrimshaw; J. H. Kinniburgh; C.L. MacLeod & J. N. Lester.** 1999. The relation between phosphorus and eutrophication in the Thames catchment, UK. *Sci. Total Environ.* 228: 157-183.