

Evaluación de la calidad de las aguas de seis sistemas lóticos pampeánicos mediante el estudio de variables físicas y químicas

Liliana M. MERCADO

Instituto de Limnología "Dr. Raúl A. Ringuelet" (CONICET). Av. Calchaquí km 23,5 (1888) Florencio Varela, Buenos Aires, Argentina.

Abstract: Water quality assessment of six pampean lotic systems through the study of physical and chemical variables. Physical and chemical composition of six lotic systems of Buenos Aires province (Rodríguez, El Gato, El Pescado, Buñirriego and J. Blanco streams, Samborombón river) was determined seasonally in order to evaluate the water quality of them. Sample sites were established in 2 or 3 stations from the headwaters to the mouths (E1 to E3). The systems presented low values of transparency; minimum values corresponded to El Pescado stream (E1) and Samborombón river (E3). Maximum suspended solids concentrations were registered in Rodríguez stream (E1) and in Samborombón river (E3). Rodríguez and El Gato streams were seriously impacted by anthropogenic activities, mostly downstream E2 where industrial effluents are discharged. These streams registered the highest nutrient concentrations in these sites. The lowest value of dissolved oxygen was registered in El Gato stream (E2). J. Blanco system, which is situated in a natural reservation, presented the lowest values of nutrients; minimum values were registered in E1. Nutrient's concentrations in El Pescado stream were usually higher in E3. Buñirriego stream is impacted in its lower basin by the discharge of effluents of several industries which caused the increase of nutrients, conductivity and the decrease of dissolved oxygen downstream E3. Samborombón river registered an increase of nutrients and conductivity downstream E2 due to the industrial and extensive agricultural activities developed in this area. Suspended solids concentrations were higher in E3 because of the effect of a coagulation process due to the presence of tides and salinity gradients.

Key words: water quality, nutrients, lotic systems, chemistry, Buenos Aires

La preocupación por los problemas ambientales se ha incrementado en los últimos años debido al deterioro acelerado de diversos sistemas acuáticos. Existen numerosos trabajos referidos al estudio de las variables físicas y químicas de los sistemas lóticos tributarios del Río de la Plata que rodean al cinturón industrial de la Capital Federal y del noreste de la provincia de Buenos Aires. Entre ellos se pueden citar a varios de los realizados en el bajo Paraná (Villar & Bonetto, 1998; Villar *et al.*, en prensa), en el río Luján (del Giorgio *et al.*, 1991), Reconquista (Loez & Salibián, 1990) y en el sistema Matanza-Riachuelo (Conforti *et al.*, 1995; INCYTH, 1985). En cambio, los ríos y arroyos tributarios del Río de la Plata, comprendidos desde los alrededores de la ciudad de La Plata (34° 56' S - 57° 58' O) hasta la desembocadura del río Samborombón (35° 44' S - 57° 20' O) han sido poco investigados desde el punto de vista limnológico, contándose hasta el momento con trabajos publicados acerca del arroyo El Pescado (Macluf *et al.*, 1998), El Gato (Tangorra *et al.*, 1998) y el río Samborombón (Solari & Claps, 1996; Mercado & Gómez, 1998).

El objetivo de este trabajo es evaluar comparativamente la calidad de las aguas de seis sistemas lóticos: arroyos Rodríguez, El Gato, El Pescado, Buñirriego, Juan Blanco y del río Samborombón (Fig. 1) mediante el estudio de las variables físicas (medidas *in situ*) y químicas (nutrientes y macroiones).

Consideraciones preliminares acerca de la presente investigación se encuentran en Mercado (1999).

De acuerdo con Chapman (1992), calidad química del agua ha sido definida como 'un conjunto de concentraciones, especiaciones y particiones físicas de sustancias inorgánicas y orgánicas'. Según Meybeck (1996), el término 'calidad del agua' es más apropiado para establecer atributos subjetivos relacionados con (i) la modificación de la composición química natural del agua y (ii) la relevancia de la composición química en relación a los usos dados por el hombre.

Los sistemas sometidos a estudio soportan diferentes tipos de presión antrópica debido a las prácticas agro-ganaderas y actividades industriales, a las que se suma en algunos casos la

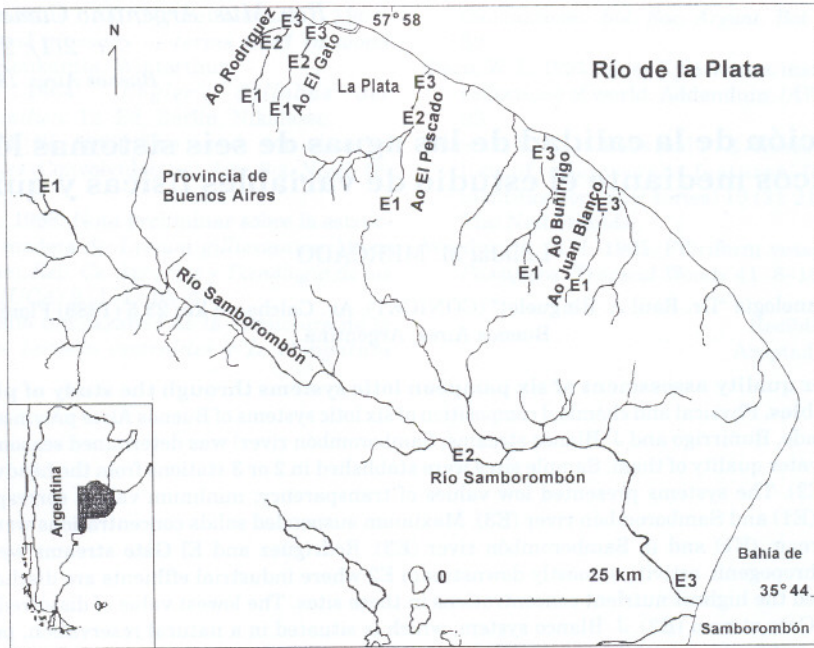


Fig. 1. Ubicación de los arroyos Rodríguez, El Gato, El Pescado, Buñirriego, Juan Blanco y del río Samborombón en el sector NE de la Provincia de Buenos Aires.

deficiente infraestructura sanitaria de las poblaciones asentadas en sus márgenes. Las explotaciones agropecuarias son una fuente de contaminación por el uso abusivo de fertilizantes y de plaguicidas, cuya toxicidad y persistencia puede ser muy variable, lo que puede tornarlos peligrosos al momento de su aplicación (organofosforados) o por la acumulación de residuos persistentes (organoclorados) que pueden ser biomagnificados (Catoggio, 1990). Estos contaminantes, en especial los menos volátiles y más solubles como los nitratos, pueden escurrir hacia los cuerpos de agua o percolar hasta alcanzar napas subterráneas. Auge (1990) cita un aumento progresivo del contenido de NO_3^- en el agua subterránea de la ciudad de La Plata.

Los efluentes de origen industrial vertidos en los sistemas estudiados son orgánicos (como los residuos de industrias papeleras, textiles, alimenticias), o minerales (como los producidos por las industrias metalúrgicas, siderúrgicas y químicas) o una combinación de ambos, como los efluentes provenientes de curtiembres.

Los asentamientos urbanos ubicados en las márgenes de los sistemas analizados producen un impacto sobre éstos, a través del vertido de efluentes cloacales, en los cuales están presentes

cloruros, fosfatos, sulfuros y productos nitrogenados (en forma de compuestos amoniacales). Las actividades domésticas ocasionan los vertidos de detergentes, agentes tenso-activos y demás productos de limpieza a estos sistemas.

AREA DE ESTUDIO

Los seis sistemas estudiados (Fig. 1) están localizados en la Pampa Húmeda, y son tributarios del Río de la Plata. El bioma característico es el pastizal pampeano, formado por una estepa de gramíneas de 0,5 a 1 m de altura especialmente de los géneros *Stipa*, *Piptochaetium*, *Melica*, *Bromus*, *Eragostis*, *Poa*, *Paspalum*, *Panicum*, *Bothriochloa*, *Piptochaetium* y *Aristida* (Dangavs *et al.*, 1983). Entre las macrófitas emergentes, sumergidas y flotantes podemos mencionar a *Schoenoplectus californicus*, *Myriophyllum sp.*, *Ceratophyllum sp.*, *Ludwigia sp.*, *Sagitaria sp.* y *Lemna sp.*

Los datos referidos a la descripción de las seis cuencas de drenaje, parámetros morfométricos de los sistemas lóticos, características antrópicas y usos del suelo se encuentran en las Tablas 1 y 2.

MATERIAL Y METODOS

Los arroyos Rodríguez, El Gato, El Pescado, Buñirigo, Juan Blanco y el río Samborombón fueron muestreados con periodicidad estacional durante 1997-1998. Los muestreos se realizaron durante 1997 en otoño (M1), invierno (M2), primavera (M3) y durante 1998 en verano (M4) y otoño (M5). Los sitios de muestreo se ubicaron en 2 o 3 estaciones (E1 a E3) en cada uno de los ambientes elegidos (Fig. 1).

Se tomaron muestras superficiales de agua para los análisis químicos. Se determinó *in situ* la temperatura y oxígeno disuelto (oxímetro Luftman), el pH (pHmetro Cole Palmer), la conductividad (conductímetro portátil Hanna) y la transparencia (Disco de Secchi).

La concentración de nutrientes en el agua se determinó sobre muestras filtradas *in situ* a través de filtros Whatman GF/C y trasladadas en hielo y en oscuridad al laboratorio. El amonio fue determinado por el método de azul indo-fenol (Mackereth *et. al.*, 1978), nitritos por diazotación, nitrato por reducción a nitrito en una columna de cadmio y el fósforo reactivo soluble por la formación de fosfomolibdato por reducción con ácido ascórbico de acuerdo con los métodos propuestos por Strickland & Parsons (1968). Alcalinidad (titulación con H_2SO_4), calcio y magnesio (titulación con EDTA), sodio y potasio (fotometría de llama) y cloruros (titulación con nitrato de plata) fueron determinados en muestras de agua sin filtrar según APHA (1985). Los sólidos suspendidos (seston) fueron determinados por diferencia de peso de filtros GF/C, secados a 105 °C.

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para describir las estaciones de muestreo de acuerdo a las variables físicas y químicas. Se calculó una matriz de correlación de Pearson para estudiar la interrelación entre las distintas variables determinadas. El programa Statistica (Statsoft Inc., 1997) fue utilizado para este propósito.

RESULTADOS

Los valores promedio de las variables físicas y químicas de las aguas de los seis sistemas lóticos estudiados se hallan resumidos en la Tabla 3. La temperatura de los seis sistemas varió estacionalmente, con valores mínimos y máximos comprendidos entre 9,0 °C y 26,6 °C, sin diferencias significativas entre las estaciones ubicadas a lo largo de cada uno de ellos. Los cinco arroyos muestreados presentaban en las cabeceras características de ambientes someros y en algunos

de ellos, como el arroyo J. Blanco y el arroyo Buñirigo, éstas se encontraron secas durante otoño y primavera (M1 y M3, respectivamente). Las aguas de los sistemas lóticos estudiados se caracterizaron por su baja transparencia; los valores mínimos del límite de visibilidad del disco de Secchi se presentaron en el arroyo El Pescado (E1, 6 cm) y en el río Samborombón (E3, 10 cm). La concentración de sólidos suspendidos de todos los sistemas se correlacionó negativamente con la transparencia ($N=74$; $r=-0,35$; $p<0,05$). La concentración mínima de sólidos suspendidos se presentó en la E1 del arroyo El Gato (24 mg l⁻¹, M2) y la más alta en el arroyo Rodríguez (1119 mg l⁻¹, E1, M2) encontrándose también valores elevados en la E3 del río Samborombón (máximo: 828 mg l⁻¹). Las concentraciones de sólidos suspendidos de este sistema resultaron más elevadas en la E3; las concentraciones en el resto de los sistemas aumentaron o disminuyeron desde las E1 hacia las E3.

Las aguas de estos ambientes se caracterizaron por sus altos valores de pH; los promedios para cada estación fueron cercanos a 8: 7,8 ± 0,5 en la E2 del arroyo Rodríguez hasta 8,6 ± 0,4 en la E1 del arroyo Buñirigo. Las concentraciones de oxígeno disuelto más bajas se registraron en la E2 (0,1 mg l⁻¹) y E3 (0,6 mg l⁻¹) del arroyo El Gato y en las mismas estaciones ubicadas sobre el arroyo Rodríguez (E2: 3,6 mg l⁻¹; E3: 2,6 mg l⁻¹). La concentración de oxígeno se correlacionó negativamente con la concentración de todos los nutrientes: N-NH₄⁺ ($N=74$; $r=-0,47$; $p<0,05$), N-NO₃⁻ ($r=-0,40$; $p<0,05$); N-NO₂⁻ ($r=-0,38$; $p<0,05$); PRS ($r=-0,40$; $p<0,05$).

Los resultados del ACP, que involucra las variables físicas y químicas del agua superficial de los seis sistemas muestreados, se encuentran representados en la Fig 2. Se interpretaron los dos primeros componentes, los cuales explicaron un 40 % del total de la varianza. El primer eje (24,6 % de la varianza) está caracterizado por la concentración de nutrientes (N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻, PRS) y el contenido de oxígeno disuelto y se lo relacionó con el grado de impacto antrópico recibido por los sistemas. El segundo eje (15,4 % de la varianza) está caracterizado por las variables que determinan la conductividad del agua (Cl⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺). Según el primer eje, las muestras pertenecientes al arroyo El Gato, al igual que las del arroyo Rodríguez, presentaron altos 'scores' positivos, principalmente en las E2 y E3. Este último arroyo presentó los valores más elevados de concentración de nutrientes de todos los sistemas lóticos estudiados: 45900 µg l⁻¹ de N-NH₄⁺ y 6921 µg l⁻¹ de PRS en la E2 (M2); 5546 µg

Tabla 1. Descripción de las cuencas de drenaje y parámetros morfométricos de los arroyos Rodríguez (R), El Gato (G), El Pescado (P), Buñirriego (Bu), J. Blanco (Bl) y río Samborombón (S). (s/d: sin datos).

Sup. cuenca (km ²)	Afluentes	Pendiente (m km ⁻¹)	Ancho (m)	Largo (km)	Profundidad (m)	Modificaciones del cauce	Tipo de lecho
R	s/d	no	0,6	3-8	20	0,3-2	canalización en tramo inferior hasta cuenca media, luego fango sapropélico
G	s/d	si	s/d	2-14	20	0,3-2	canalización en tramo inferior
P	400	si	0,6	3-12	36	0,4-2	Limo-arcilloso-arenoso
Bu	s/d	si	s/d	2-7	30	0,3-1,5	s/d
Bl	s/d	si	s/d	2-16	38	0,5-2,5	s/d
S	6000	si	0,13	8-32	140	0,5-2,5	Limo-arcilloso y tosca

(cuenca media e inferior)

Tabla 2. Características antrópicas y uso del suelo de los arroyos Rodríguez (R), El Gato (G), El Pescado (P), Buñirriego (Bu), J. Blanco (Bl) y río Samborombón (S).

Usos del suelo	Poblaciones asentadas	Presencia de industrias	Otros
R Ganadería, agricultura extensiva	Gorina, Gonnet, City Bell	Frigorífica	
G Ganadería, agricultura extensiva	Sector oeste La Plata y Ensenada	Papelera, textil, siderúrgica, metalúrgica	
P Ganadería, agricultura medianamente intensiva	Asentamientos localizados en su cuenca media (Loc. Ignacio Correas)	No	
Bu Ganadería, agricultura extensiva	Atalaya (cuenca inferior)	Alimenticias, curtiembre	
Bl Ganadería, agricultura extensiva	No	No	Reserva UNESCO
S Ganadería, agricultura extensiva	Brandsen, San Vicente	Principalmente lácteas	Bahía de Samborombón: Sitio RAMSAR y area protegida.

l¹ de N-NO₃⁻ en la E3, durante el mismo muestreo y 865 µg l⁻¹ de N-NO₂⁻ en la E2 (M4). En general se produce un aumento notable de las concentraciones de N-NH₄⁺, PRS y en menor grado de N-NO₃⁻ en las E2 de los arroyos Rodríguez y El Gato respecto de la E1. Las muestras pertenecientes al arroyo Buñirriego presentan según el eje 1 bajos 'scores' negativos. Se produce en todos los muestreos un aumento de todos los

nutrientes desde la E1 hacia la E2. Las muestras pertenecientes al arroyo El Pescado presentan según el eje 1 desde bajos 'scores' positivos hasta moderados 'scores' negativos; la concentración de nutrientes fue en general más elevada en la E3. Los mínimos valores se registraron durante el M4 (verano) y los máximos durante el M3 (primavera). Las muestras pertenecientes al arroyo J. Blanco presentan según el eje 1 altos

'scores' negativos y por lo tanto, bajas concentraciones de todos los nutrientes, aumentando en general hacia la E2. En este arroyo se registraron los valores más bajos de concentraciones de nutrientes de todos los sistemas estudiados, en la E1: $4 \mu\text{g l}^{-1}$ de N-NH_4^+ (M5), $3 \mu\text{g l}^{-1}$ de PRS (M5); $2 \mu\text{g l}^{-1}$ de N-NO_3^- (M3) y $3 \mu\text{g l}^{-1}$ de N-NO_2^- (M3). Las muestras pertenecientes al río Samborombón presentan según el eje 1 'scores' negativos. Se produce un aumento notable en la concentración de nutrientes a partir de la E2, presentándose los valores más elevados durante el M1 (otoño).

Las muestras pertenecientes a los arroyos Rodríguez y El Gato presentan según el segundo eje moderados 'scores' positivos y negativos (Fig.

2). Las conductividades más altas se registraron en las E2 ($1053 \pm 556 \mu\text{S cm}^{-1}$ y $1177 \pm 162 \mu\text{S cm}^{-1}$ respectivamente).

Desde el punto de vista de los macroiones, las aguas de dichos arroyos son de tipo bicarbonatado-sódico, subtipo clorurado-cálcico (Tabla 3). Las muestras de la naciente y de la desembocadura del arroyo Buñirigo se separan claramente según el segundo eje: las muestras de las E1 presentan altos 'scores' negativos, correspondiéndose con una concentración relativamente baja de macroiones y las muestras de las E3 presentan altos 'scores' positivos debido a un incremento principalmente de las concentraciones de Na^+ y Cl^- y por ende de la conductividad ($2782 \pm 1602 \mu\text{S cm}^{-1}$). Las muestras pertenecien-

Tabla 3. Promedio y desviación estandar de las variables físicas y químicas determinadas en los seis sistemas en las diferentes estaciones de muestreo (E1 a E3) para las fechas consignadas (Muestreos 1 a 5). Abreviaturas: OD: oxígeno disuelto, T: Temperatura, Cond: Conductividad, S.S.: Sólidos suspendidos.

Sistemas	E	OD mg l^{-1}	T $^{\circ}\text{C}$	pH	Cond. $\mu\text{S cm}^{-1}$	Secchi cm	S. S. mg l^{-1}	NH_4^+ $\mu\text{g l}^{-1}$	NO_3^- $\mu\text{g l}^{-1}$	NO_2^- $\mu\text{g l}^{-1}$
Rodríguez	E1	$7,1 \pm 1,8$	$19,2 \pm 6,2$	$8,2 \pm 0,9$	689 ± 280	20 ± 1	$335,5 \pm 523,4$	303 ± 352	290 ± 289	28 ± 9
	E2	$4,3 \pm 0,5$	$18,2 \pm 5,4$	$7,8 \pm 0,5$	1053 ± 556	11 ± 2	$126,3 \pm 58,6$	24265 ± 19625	2123 ± 1042	548 ± 380
	E3	$4,5 \pm 2,0$	$16,4 \pm 3,5$	$7,9 \pm 0,6$	929 ± 351	17 ± 1	$92,2 \pm 47,6$	13487 ± 10584	7461 ± 8172	446 ± 365
El Gato	E1	$7,5 \pm 3,0$	$15,1 \pm 4,8$	$8,0 \pm 0,7$	897 ± 260	24 ± 8	$64,6 \pm 26,6$	5643 ± 5373	1621 ± 1577	250 ± 314
	E2	$1,4 \pm 2,0$	$16,5 \pm 4,9$	$8,2 \pm 0,7$	1177 ± 162	29 ± 11	$61,0 \pm 10,2$	8004 ± 5875	926 ± 770	135 ± 78
	E3	$2,1 \pm 1,5$	$17,6 \pm 4,4$	$8,0 \pm 0,5$	836 ± 241	37 ± 14	$64,5 \pm 22,1$	5324 ± 2741	1481 ± 2700	213 ± 259
El Pescado	E1	$5,4 \pm 0,8$	$18,3 \pm 6,4$	$8,2 \pm 0,5$	257 ± 79	18 ± 2	$81,6 \pm 43,3$	168 ± 118	187 ± 191	15 ± 10
	E2	$6,1 \pm 2,1$	$20,1 \pm 5,4$	$8,2 \pm 0,6$	434 ± 239	23 ± 11	$117,1 \pm 45,3$	418 ± 219	322 ± 299	19 ± 33
	E3	$5,8 \pm 1,2$	$17,4 \pm 4,0$	$8,3 \pm 0,9$	686 ± 254	19 ± 10	$189,6 \pm 270,1$	473 ± 355	418 ± 361	40 ± 16
Buñirigo	E1	$8,0 \pm 1,2$	$17,0 \pm 5,8$	$8,6 \pm 0,4$	341 ± 168	24 ± 8	$95,8 \pm 66,5$	151 ± 68	96 ± 147	15 ± 12
	E3	$5,4 \pm 2,1$	$19,6 \pm 4,5$	$8,4 \pm 0,5$	2782 ± 1602	27 ± 3	$64,9 \pm 19,9$	1138 ± 674	143 ± 229	15 ± 10
J. Blanco	E1	$8,6 \pm 0,5$	$19,1 \pm 7,1$	$8,6 \pm 0,8$	173 ± 16	30 ± 7	$48,8 \pm 19,7$	45 ± 69	15 ± 12	12 ± 11
	E3	$6,6 \pm 1,0$	$18,5 \pm 4,6$	$8,4 \pm 0,4$	485 ± 148	25 ± 9	$98,2 \pm 57,2$	136 ± 109	116 ± 141	11 ± 5
Samborombón	E1	$7,4 \pm 1,6$	$17,2 \pm 6,2$	$8,4 \pm 1,0$	2129 ± 2326	27 ± 13	$72,8 \pm 34,5$	338 ± 270	46 ± 18	14 ± 10
	E2	$9,2 \pm 1,8$	$17,6 \pm 6,4$	$8,4 \pm 0,6$	2437 ± 2374	21 ± 7	$94,3 \pm 12,7$	639 ± 807	97 ± 99	29 ± 29
	E3	$6,5 \pm 3,6$	$18,4 \pm 6,1$	$8,3 \pm 0,4$	4547 ± 5373	17 ± 5	$331,2 \pm 289,9$	1141 ± 1482	143 ± 288	13 ± 8

Sistemas	PRS $\mu\text{g l}^{-1}$	HCO_3^- mg l^{-1}	CO_3^{2-} mg l^{-1}	Ca^{2+} mg l^{-1}	Mg^{2+} mg l^{-1}	Na^+ mg l^{-1}	K^+ mg l^{-1}	Cl^- mg l^{-1}
Rodríguez	501 ± 399	$111,8 \pm 116,7$	$10,8 \pm 10,6$	$18,3 \pm 7,6$	$11,1 \pm 8,2$	$87,7 \pm 54,6$	$31,6 \pm 20,8$	$33,1 \pm 4,7$
	14274 ± 23586	$178 \pm 227,5$	$7,9 \pm 13,1$	$14,4 \pm 3,9$	$8,2 \pm 8,3$	$103,8 \pm 39$	$28,9 \pm 6,5$	$48,5 \pm 17,1$
	3461 ± 1615	$135,7 \pm 116,9$	$19,3 \pm 30,2$	$18,5 \pm 7,3$	$7,5 \pm 4,5$	$126,9 \pm 57,2$	$25,5 \pm 11,1$	$48,9 \pm 14,9$
El Gato	1124 ± 839	$80,7 \pm 73,9$	$4,0 \pm 3,2$	$19,7 \pm 8,6$	$20,4 \pm 21,1$	$105,3 \pm 51,9$	$12,3 \pm 5,5$	$52,9 \pm 26,3$
	1512 ± 298	$174,8 \pm 130,1$	$12,4 \pm 13,0$	$15,8 \pm 7,3$	$15,7 \pm 1,3$	$161,2 \pm 41,2$	$10,7 \pm 5,2$	$82,8 \pm 28,3$
	2087 ± 1769	$78 \pm 67,9$	$2,0 \pm 3,4$	$21 \pm 9,1$	$9,9 \pm 8,4$	$96,4 \pm 24,6$	$6,7 \pm 3,8$	$58,7 \pm 13,4$
El Pescado	338 ± 284	$42,4 \pm 27,5$	$0,5 \pm 1,0$	$16,9 \pm 4,0$	$4,1 \pm 2,5$	$28,9 \pm 4,5$	$8,9 \pm 5,9$	$22,0 \pm 12,4$
	352 ± 345	$59,7 \pm 42,2$	$1,9 \pm 2,0$	$16,9 \pm 4,0$	$3,2 \pm 1,9$	$67,5 \pm 30,4$	$9,3 \pm 4,0$	$45,4 \pm 36,9$
	385 ± 262	$68,9 \pm 35,0$	$5,3 \pm 4,2$	$16,8 \pm 6,4$	$5,3 \pm 3,2$	$84,4 \pm 18,0$	$6,2 \pm 2,7$	$58,7 \pm 20,7$
Buñirigo	26 ± 11	$47,1 \pm 26,4$	$5,1 \pm 4,5$	$13,9 \pm 5,8$	$8,2 \pm 7,4$	$50,3 \pm 52,5$	$7,0 \pm 2,8$	$55,9 \pm 32,9$
	191 ± 201	$81,0 \pm 36,9$	$5,6 \pm 5,4$	$36,3 \pm 19,5$	$18,8 \pm 10,9$	$335,3 \pm 133,6$	$19,7 \pm 4,1$	$766,6 \pm 291,1$
J. Blanco	17 ± 23	$36,9 \pm 11,5$	$4,0 \pm 2,9$	$15,1 \pm 3,6$	$3,4 \pm 2,3$	$17,1 \pm 5,2$	$6,0 \pm 3,5$	$37,9 \pm 24,6$
	46 ± 9	$58,3 \pm 22,3$	$2,2 \pm 2,4$	$17,3 \pm 6,7$	$4,5 \pm 4,4$	$77,5 \pm 27,7$	$5,7 \pm 2,2$	$43,5 \pm 8,0$
Samborombón	61 ± 23	$61,2 \pm 39,6$	$2,9 \pm 5,7$	$17,1 \pm 5,8$	$12,6 \pm 5,1$	$100,5 \pm 51,6$	$13,4 \pm 9,4$	$233,3 \pm 310,7$
	153 ± 119	$62,6 \pm 40,0$	$2,3 \pm 2,5$	$22,4 \pm 17,4$	$8,9 \pm 4,9$	$201,7 \pm 251,6$	$12,5 \pm 7,8$	$409,7 \pm 490,8$
	83 ± 37	$28,6 \pm 16,3$	$8,0 \pm 10,5$	$26,0 \pm 22,3$	$25,8 \pm 19,1$	$312,3 \pm 399,9$	$24,5 \pm 19,2$	$829,3 \pm 1144,9$

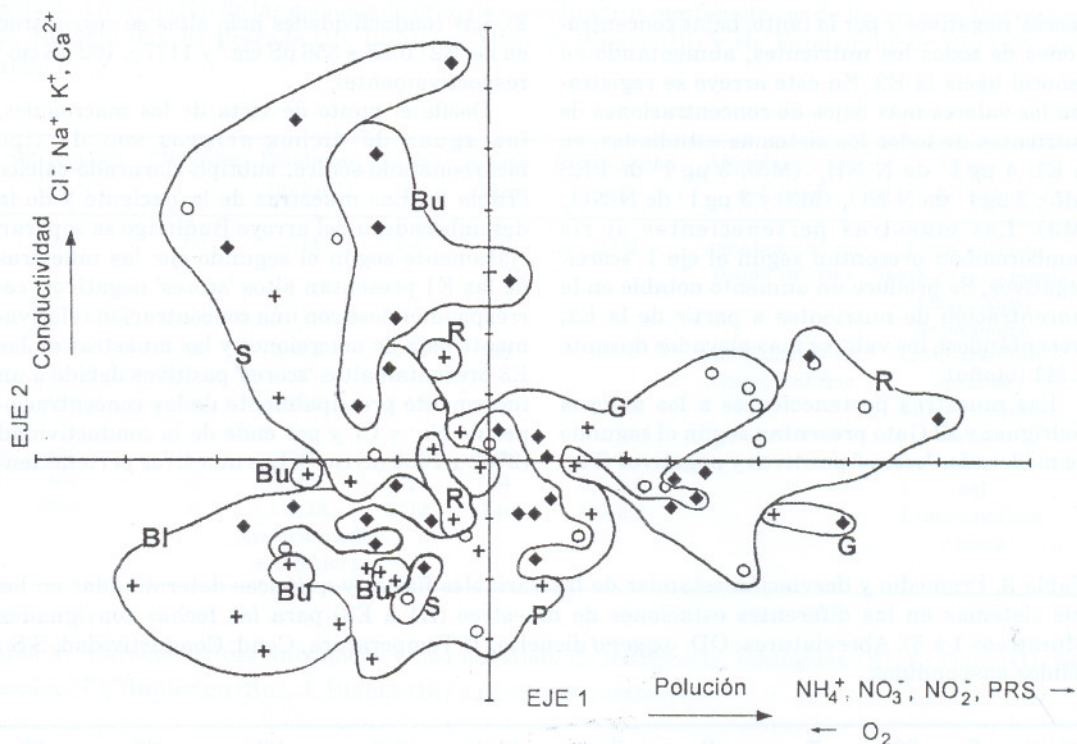


Fig. 2. Representación de los 'scores' del Análisis de Componentes Principales realizado con el conjunto de datos físicos y químicos obtenido de los arroyos Rodríguez (R), El Gato (G), El Pescado (P), Buñirriego (Bu), J. Blanco (Bl) y río Samborombón (S). Las estaciones E1, E2 y E3 se marcan con un signo +, un círculo y un rombo, respectivamente.

tes al arroyo El Pescado presentan según el eje 2 desde bajos 'scores' positivos hasta relativamente elevados 'scores' negativos. Los valores más bajos de conductividad se registraron en la E1 ($257 \pm 79 \mu\text{S cm}^{-1}$) y aumentaron hacia la E3 ($686 \pm 254 \mu\text{S cm}^{-1}$). Las aguas de este arroyo son en general de tipo bicarbonatado-sódico, subtipo clorurado-cálcico. Las muestras pertenecientes al arroyo J. Blanco presentan según el eje 2 desde bajos (E3) hasta relativamente elevados 'scores' negativos (E1). En la E1 se registraron los valores más bajos de conductividad de todos los sistemas estudiados ($173 \pm 16 \mu\text{S cm}^{-1}$). Las aguas de este arroyo son de tipo bicarbonatado-sódico, subtipo clorurado-cálcico. Según el segundo eje, las muestras pertenecientes al río Samborombón presentan en general desde bajos 'scores' negativos hasta elevados 'scores' positivos. La conductividad fue más elevada en la E3 ($4547 \pm 5373 \mu\text{S cm}^{-1}$). Estos valores se correspondieron con elevadas concentraciones de macroiones, especialmente Na^+ y Cl^- . Las aguas

del río Samborombón son de tipo clorurado-sódico, subtipo bicarbonatado-cálcico.

DISCUSION

Los resultados de este trabajo concuerdan con AGOSBA-OSN-SIHN (1994), en donde se indica que la mayoría de los ríos y arroyos que pertenecen a la subcuenca del Río de la Plata están impactados por la actividad industrial y los residuos domésticos.

Dentro de las variables medidas *in situ* y las determinadas en el laboratorio, la concentración de oxígeno disuelto y de nutrientes fueron indicadoras de impacto antrópico en todos los sistemas estudiados. Esto concuerda con AGOSBA-OSN-SIHN (1994), donde se indica que la concentración de oxígeno disuelto es uno de los parámetros más representativos de la calidad del agua, y con Stumm y Baccini (1983), los cuales observan que los nutrientes representan las variables más influenciadas por la presencia humana.

Dentro del estudio realizado, se observó que solamente la estación E1 del arroyo J. Blanco, ubicado en una reserva natural de la UNESCO, fue representativa de una situación de ausencia de impacto antrópico. En su cuenca se realizan solamente actividades agro-ganaderas y aparentemente no recibe ningún otro tipo de perturbación. Las muestras pertenecientes a este arroyo presentaron altos 'scores' negativos en el primer componente del ACP (polución). A pesar de esto, las concentraciones de nutrientes, en especial en la E2, generalmente superan los valores medios citados por Meybeck (1982) para sistemas lóticos no contaminados y por AGOSBA-OSN-SIHN (1994) para la protección de la vida acuática (Tabla 4).

Los sistemas lóticos más perturbados por la actividad humana fueron los arroyos El Gato y Rodríguez, cercanos a la ciudad de la Plata. Los resultados de este estudio indican que se encuentran altamente impactados, presentando altas concentraciones de nutrientes a partir de las E2, ubicadas aguas abajo de varias industrias, aumentando en algunos casos hacia las E3 y superando notablemente los valores citados en la Tabla 4. Las concentraciones máximas de nutrientes (E2 y E3) superan a las observadas en otros arroyos de llanura de la provincia de Buenos Aires, tales como el arroyo Las Palmas (Villar & Bonetto, 1998); las concentraciones máximas de N-NH_4^+ y N-NO_3^- del arroyo Rodríguez y las concentraciones máximas de N-NO_3^- y N-NO_2^- del arroyo El Gato superan a las registradas por Castañé *et al.* (1998) en la cuenca baja de un sistema altamente contaminado, como el río Reconquista.

En todas las E2 y E3 de los arroyos Rodríguez, El Gato y en ocasiones, en la E2 del arroyo Buñirrigio las concentraciones de oxígeno disuelto no superaron los valores recomendados para la protección de la vida acuática (Tabla 4). Los efluentes provenientes de diferentes industrias y, en menor proporción, los vertidos domiciliarios en las E2 de dichos arroyos, producirían una notable disminución de la concentración de oxígeno disuelto en el agua.

En las E2 y E3 del arroyo Rodríguez y en las E1 a E3 del arroyo El Gato, las concentraciones de N-NH_4^+ reflejan condiciones no sanitarias ($>5000 \mu\text{g l}^{-1}$) según AGOSBA-OSN-SIHN (1994) durante todas las fechas de muestreo.

La presencia de N-NO_2^- en agua indica procesos biológicos activos, influenciados por la contaminación orgánica; las concentraciones en las E2 y E3 del arroyo Rodríguez resultaron las más elevadas; las concentraciones de dicho nutriente

Tabla 4. Concentraciones de nutrientes ($\mu\text{g.l}^{-1}$) y oxígeno disuelto (mg.l^{-1}). Valores límites para la protección de la vida acuática (AGOSBA, 1994) y concentraciones medias en sistemas lóticos no contaminados (Meybeck, 1982). (s/d: sin datos).

	AGOSBA (1994)	Meybeck (1982)
N-NH_4^+	<100	15
N-NO_3^-	s/d	100
N-NO_2^-	<1	s/d
PRS	<10	10
O2	>5	s/d

en el arroyo El Gato fueron menores, superando, en ambos casos, los valores citados en la Tabla 4.

Los arroyos Rodríguez y El Gato han presentado en la E2, durante el 40 % de los muestreos, concentraciones de N-NO_3^- que indican condiciones no sanitarias ($>5000 \mu\text{g l}^{-1}$) según AGOSBA-OSN-SIHN (1994).

La concentración de PRS en todos los sistemas lóticos estudiados ha superado los valores citados en la Tabla 4. Una excepción se presenta en la estación ubicada en la cabecera (E1) del arroyo J. Blanco, en la cual durante el 40 % de los muestreos se presentaron valores inferiores a aquellos. Las principales fuentes de PRS son los desechos domésticos, los detergentes, efluentes industriales y en menor proporción el drenaje agrícola de las tierras fertilizadas.

Los valores de las variables físicas y químicas registrados en el presente estudio en el río Samborombón se encontraron dentro de los rangos observados por Solari & Claps (1996). La actividad que se realiza en su cuenca es fundamentalmente la agro-ganadera. Las concentraciones de todos los nutrientes en todos los muestreos realizados aumentaron desde la E1 hacia la E2, y disminuyeron en la E3. La E2 posee una carga importante de nutrientes, principalmente proveniente de la actividad agro-ganadera.

Las concentraciones de sólidos suspendidos varían dentro de cada uno de los arroyos estudiados, por diferentes razones: En ciertas ocasiones (por ejemplo, arroyo Rodríguez, M2), pueden aumentar en las nacientes, debido al pisoteo ocasionado por el ganado; en algunos casos pueden aumentar por el vertido de efluentes industriales. La elevada concentración de sólidos suspendidos en la E3 del río Samborombón se relaciona con un proceso de coagulación mediante el

cual el material suspendido y los coloides de un sistema acuático se tornan inestables y sedimentan cuando se produce un aumento de la fuerza iónica del agua debido a la presencia de gradientes de salinidad y movimientos de marea. Bazán & Janiot (1991) observaron este efecto en el Río de la Plata en la denominada "zona de máxima turbidez", cuando la conductividad superaba los 3000 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

En la cuenca de los arroyos El Pescado y Buñirigo se desarrolla actividad agro-ganadera; en la E2 de este último el arroyo recibe vertidos de una industria alimenticia y de una curtiembre. El primero presentó altas concentraciones de nutrientes desde la cabecera (E1) disminuyendo o aumentando de forma variable hacia la E3. Las muestras de la desembocadura (E3) del arroyo Buñirigo presentaron según el segundo componente del ACP (conductividad) altos 'scores' positivos. En dicha estación se produce un aumento notable de las concentraciones de los iones Na^+ , Cl^- y de todos los nutrientes junto con una disminución de la concentración de oxígeno disuelto. Este efecto podría atribuirse al impacto producido por varias industrias que descargan sus efluentes en este arroyo (entre ellas, curtiembres y lácteas).

La concentración de sales minerales solubles refleja las características geológicas y geoquímicas, el tipo de suelo y clima y la extensión de la cuenca (Meybeck, 1979; 1996) y puede verse como el resultado de un gran proceso de titulación de los materiales básicos de suelos y rocas por ácidos tanto de origen natural como antrópico (Stumm & Morgan, 1981). La concentraciones de macroiones de los sistemas estudiados y, por ende, la conductividad, fluctuaron a lo largo de cada sistema dependiendo de los terrenos que atravesaron, del aporte de la napa freática de los arroyos que rodean la ciudad de La Plata, que en algunos casos podría estar altamente mineralizada, situación descrita por Auge (1990), o bien por la influencia de la contaminación, como en el caso del arroyo Buñirigo, que recibe efluentes provenientes de industrias.

Las muestras de la E3 pertenecientes al río Samborombón presentan, según el componente 2 (conductividad) del ACP altos 'scores' positivos. Su baja pendiente en su cuenca media e inferior y su baja ubicación respecto del nivel del mar han favorecido la formación de zonas pantanosas en las cuales emerge el agua subterránea, salinizando el suelo durante el período seco.

Se puede concluir que los sistemas más altamente impactados por la actividad antrópica y,

por ende, cuya calidad del agua se vió más empobrecida, fueron los arroyos Rodríguez y El Gato, principalmente en su cuenca media. El arroyo J. Blanco, ubicado en una reserva natural de la UNESCO, presentó el menor impacto antrópico.

BIBLIOGRAFIA

- AGOSBA-OSN-SIHN. 1994. Río de la Plata: *Calidad de aguas de la Franja Costera Sur (San Isidro - Magdalena)*. Informe de avance, 167 pp.
- APHA. 1985. *Standard Methods for the examination of water*. Amer. Publ. Health Assoc. Washington.
- Auge, M. P. 1990. Aptitud del agua subterránea en La Plata, Argentina. En R. De Filippi (comp.): *Latinoamérica, Medio Ambiente y Desarrollo*. Inst. de Est. e Investig. sobre el Medio Ambiente. Fund. Roulet. Bs. As., p. 191-201.
- Bazan, J. M. & L. J. Janiot. 1991. *Zona de máxima turbidez y su relación con otros parámetros del Río de la Plata*. DIGIP-SIHN. Informe técnico N° 65/91.
- Castañe, P. M., M. Topalian, M. G. Rovedatti & A. Salibian. 1998. Impact of human activities on the water quality of the Reconquista river (Buenos Aires, Argentina). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 1206-1208.
- Catoggio, J. A. 1990. Contaminación del agua. Causas de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Precipitaciones ácidas. Eutroficación; polución costera. En R. De Filippi (comp.): *Latinoamérica, Medio Ambiente y Desarrollo*. Inst. de Est. e Investig. sobre el Medio Ambiente. Fund. Roulet. Bs. As., p. 137-155.
- Conforti, V., J. Alberghina, & E. G. Urda. 1995. Structural changes and dynamics of the phytoplankton along a highly polluted lowland river of Argentina. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 5: 59-75.
- Chapman, D. (ed.). 1992. *Water Quality Assessments*. Chapman and Hall, London, 585 pp.
- Dangavs, N. V., A. A. Bozzo & A. M. Srelzik. 1983. Conocimiento y manejo agrohidrológico de las llanuras bonaerenses de baja pendiente. En: (M. C. Fuschini Mejía Ed.) *Hidrología de las grandes llanuras*. Actas del Coloquio de Olavarría. Secretaría de Recursos Hídricos- Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Rep. Arg., 1916 pp.
- Del Giorgio, P. A., A. L. Vinocur, R. J. Lombardo & G. Tell. 1991. Progressive changes in the structure and dynamics of the phytoplankton community along a pollution gradient in a lowland river- a multivariate approach. *Hydrobiología* 224: 129-154.
- Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCYTH). 1985. *Monitoreo de la calidad de aguas en la cuenca del río Matanza-Riachuelo en el período octubre 1982 - septiembre 1984*. Informe final. Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Secretaría de Recursos Hídricos (sin numerar).
- Loez, C. & A. Salibián. 1990. Première donées sur le phytoplankton et les caractéristiques physico-

- chimiques du Rio Reconquista (Buenos Aires, Argentine): une rivière urbaine polluée. *Revue Hydrobiol. Suppl.* 50: 145-207.
- Macluf, C. C., M. C. Claps & L. C. Solari. 1998. Plankton of an undisturbed plain's stream (Buenos Aires, Argentina). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26 (1057-1061).
- Mercado, L. 1999. Consideraciones acerca de la calidad de las aguas de seis sistemas lóticos de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Aprona* 13(38): 10-16.
- Mercado, L. & N. Gómez. 1998. Estudio de la calidad del agua del río Samborombón (Pcia. Bs. As.) a partir del fitoplancton y variables físico-químicas. *Anales del XVII Congreso Nacional del Agua y II Simposio de Recursos Hídricos del Conosur* 5: 221-220, Santa Fe, Argentina.
- Meybeck, M. 1979. Concentrations des eaux fluviales en éléments majeurs et apports en solution aux océans. *Rev. Géol. Dynamiq. Géogr. Phys.* 21 (3): 215-246.
- 1982. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. *Am. J. Sci.* 282: 401-450.
- 1996. River water quality. Global changes, time and space variabilities, proposal for some redefinitions. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 81-96.
- Serra, A. E., M. Pennisi, E. Lupano, N. Toschi, O. Nomdedeu & B. Arce. 1989-1991. *Calidad de las aguas en la formación moderna de la cuenca del Río Santiago*. OSBA. La Plata, 99 pp.
- Statsoft Inc. 1998. *Statistica for windows*. Computer program manual. Tulsa, Oklahoma.
- Stumm, W. & J. J. Morgan (1981): *Aquatic chemistry*. Wiley, New York, 780 pp.
- Stumm, W. & P. Baccini. 1983. Man-made chemical perturbations of lakes. En A. Lerman (ed.): *Lakes, chemistry, geology, physics*. Springer-Verlag, New York p. 91-126.
- Solari, L. & M. C. Claps. 1996. Planktonic and benthic algae of a pampean river (Argentina): comparative analysis. *Annls. Limnol.* 32 (2): 89-95.
- Tangorra, M., L. Mercado, A. Rodrigues Capítulo & N. Gómez. 1998. Evaluación de la calidad ecológica del arroyo El Gato a partir del estudio del bentos, fitoplancton y variables físico-químicas. *Anales del XVII Congreso Nacional del Agua y II Simposio de Recursos Hídricos del Conosur* 5 (344-351), Santa Fe, Argentina.
- Villar, C. & C. A. Bonetto. 1998. Caracterización física y química del Bajo Paraná. Efecto de la Central Atucha. *Aquatec* 5: 1-13.
- Villar, C., P. Vaithyanathan & C. A. Bonetto (en prensa): Impact of sea level rise on coastal marshes of the Lower Paraná river and Río de la Plata estuary. *Current topics in wetland biogeochemistry*.

Recibido: 15-X-1999

Aceptado: 17-XII-1999