

## Influencia de las descargas industriales y domésticas de los asentamientos urbanos sobre el Río Uruguay entre los años 1998 y 2004

Influence of urban industrial and domestic discharge on Uruguay River in the period 1998-2004

Constanza G Llorente<sup>a\*</sup>, Daniel A Molina<sup>a</sup>, Pablo A Zorzoli<sup>a</sup>, Alejandra V Volpedo<sup>b</sup>

### Palabras clave:

Argentina, contaminación, efecto antropogénico

### Keywords:

Argentina, pollution, anthropogenic effect

### ABSTRACT

Uruguay river is 1800 km long and its basin covers an area of 339000 km<sup>2</sup>. It is the international border between Argentina and Uruguay in its last 508 km along which seven cities are settled. From north to south Concordia, Colón, Concepción del Uruguay and Galeguaychú are located on the Argentinian margin whereas Salto, Paysandú and Fray Bentos are on the Uruguayan margin. These cities have greatly developed in the last 50 years. However, their influence on Uruguay River has not been studied.

This work was aimed at analyzing the impact of these discharges on the Uruguay River during the period 1998-2004 and at comparing the physicochemical values and biological parameters based on the levels proposed by the Administrative Commission of the Uruguay River (CARU, in Spanish) and the baseline of the main channel. Data from 12 winter or spring campaigns were gathered. The following physicochemical parameters were measured: conductivity, pH, dissolved oxygen, alkalinity, hardness, total dissolved solids, nitrates, nitrites, ammoniums, phosphates, major ions (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) and metals (Cd<sup>2+</sup>, Cr<sup>3+</sup> and Pb<sup>2+</sup>). Fecal coliform bacteria were considered to be a biological parameter. All these parameters were analyzed by applying standard methods. The results showed that the seven cities on Uruguay River banks produce different effects on the quality of its coastal waters. The sampling sites at Concordia in Argentina and Paysandú in Uruguay showed values higher than those recommended by the CARU to ensure water quality for public consumption with a conventional treatment. It is noteworthy that, although an important influence of the discharge of the seven cities on the river is observed, it is moderate due to its self-purifying capacity.

### RESUMEN

El Río Uruguay de 1800 km de longitud, tiene una cuenca que abarca una superficie de 339000 km<sup>2</sup>. En los últimos 508 km del río, es el límite fronterizo entre la República Argentina y la República Oriental del Uruguay. En este tramo se asientan siete ciudades importantes; de norte a sur se encuentran en el lado argentino Concordia, Colón, Concepción del Uruguay y Galeguaychú, y del lado Salto, Paysandú y Fray Bentos. Estas ciudades han tenido un importante crecimiento en los últimos 50 años, sin embargo, la influencia de las mismas sobre el río no ha sido estudiada.

En este trabajo analizaremos la influencia de estas descargas sobre el Río Uruguay en el periodo 1998-2004 y compararemos los valores de los parámetros físico-químicos y biológicos obtenidos, con los niveles guía propuestos por la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) y la línea base del cauce principal. Con ese objetivo, se recopilaron los datos de 12 campañas, realizadas en los meses de invierno y primavera. Los parámetros físico-químicos determinados fueron: conductividad, pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza, sólidos totales disueltos, nitratos, nitritos, amonios, fosfatos, los iones mayoritarios (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) y los (Cd<sup>2+</sup>, Cr<sup>3+</sup> y Pb<sup>2+</sup>); y el parámetro biológico determinado fue bacterias coliformes fecales. Todos estos parámetros fueron analizados por métodos normalizados. Los resultados evidencian que las siete ciudades asentadas en las márgenes del Río Uruguay producen diferente influencia sobre la calidad de las aguas costeras del río. Los sitios de muestreo asociados a las ciudades de Concordia en la República Argentina y de Paysandú en la República Oriental del Uruguay son los que poseen valores superiores a los parámetros recomendados por la CARU para garantizar la calidad del agua con destino a abastecimiento público con tratamiento convencional. Es de destacar que si bien se observa una influencia importante de las descargas de las siete ciudades sobre el río, la misma es moderada debido a su capacidad autodepuradora.

<sup>a</sup> Servicio de Hidrografía Naval (SHN), Ministerio de Defensa, República Argentina, Av. Montes de Oca 2124, 1270 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina [cllorente@hidro.gov.ar](mailto:cllorente@hidro.gov.ar)

<sup>b</sup> Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA-UBA)- Instituto de Investigaciones en Producción Animal (INPA-CONICET-UBA), Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires, Av. Chorroarín 280 (C1427CWO), Buenos Aires, Argentina. [avolpedo@gmail.com](mailto:avolpedo@gmail.com)

\* Autor para correspondencia: +54 1143172000 int 4117 [cllorente@hidro.gov.ar](mailto:cllorente@hidro.gov.ar)

## INTRODUCCIÓN

La Cuenca del Plata, de 3100000 km<sup>2</sup>, es la segunda cuenca más importante del mundo, y está integrada por el sistema Paraguay-Paraná y el Río Uruguay. El Sistema Paraguay-Paraná ha sido estudiado por numerosos autores en distintos aspectos ecológicos (Bonetto *et al.*, 1994; Villar *et al.*, 1998; Alarcón, 2003; Pedrozo & Bonetto, 1989; Cataldo *et al.*, 2001; Iriondo, 2004; Stevaux *et al.*, 2009; Marchese *et al.*, 2014), hidroquímicos (Bonetto *et al.*, 1998; Villar *et al.*, 1999 a,b, 2000; Depetris *et al.*, 1996; Iwashita *et al.*, 2011; Nicholas *et al.*, 2012), de manejo (Bucher & Huszar, 1995; Ballester *et al.*, 2003; Baigún *et al.*, 2008), hidroclimáticos (Depetris, 1976; Caviedes, 1998; Robertson & Mechoso, 1998; Berri *et al.*, 2002; Camilloni & Barros, 2003; Agostinho *et al.*, 2008, 2009; Panarello & Dapeña, 2009; Pasquini & Depetris, 2010, 2012; Garcia, 2011), a diferencia del Río Uruguay donde los trabajos son más limitados (Pisciottano *et al.*, 1994; Molina, 2015).

El Río Uruguay de 1800 km de longitud, posee su nacimiento en el estado de Santa Catarina (Brasil), cerca de la localidad de Florianópolis en la Sierra Del Mar. Atraviesa el sur de Brasil y posteriormente constituye el límite natural entre Brasil y Argentina (en las provincias de Misiones y Corrientes) y donde confluye con el Río Cuareim (o Quaraim) pasa a ser límite fronterizo entre la Argentina y la República Oriental del Uruguay. La cuenca abarca una superficie de 339000 km<sup>2</sup> (SSRH & INA, 2002). El relieve es muy heterogéneo, con un sistema fluvial muy ramificado formado por cursos de agua de corto recorrido y de acentuada pendiente (CFI, 1962; Chiozza & Figueira, 1981).

Este río se caracteriza por poseer un lecho rocoso con numerosas islas en su cauce, en la zona donde se ensancha, disminuye la velocidad, lo que favorece la deposición de sedimentos. Presenta un caudal irregular como consecuencia de la influencia de las abundantes precipitaciones que se encuentran afectadas por el Sistema Monzónico de América del Sur (Raia & Cavalcanti, 2008). La composición química de sus aguas es

característica de la mineralización de rocas, aunque posiblemente exista la influencia de la filtración natural de acuíferos (Molina, 2015).

En los 508 km de río compartido entre Argentina y Uruguay, se asientan siete ciudades importantes; del lado argentino de norte a sur se encuentran Concordia, Colón, Concepción del Uruguay y Gualeguaychú, y del lado uruguayo las ciudades de Salto, Paysandú y Fray Bentos. Estas ciudades han tenido un importante crecimiento en los últimos 50 años, sin embargo, la influencia de las mismas sobre el río no ha sido estudiada.

Este trabajo analiza la influencia antrópica en las aguas costeras del Río Uruguay en el periodo 1998-2004 y compara los valores de los parámetros físico-químicos y biológicos obtenidos con los niveles guía propuestos por la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) y la línea base del cauce principal determinada por Molina (2015).

## METODOLOGÍA

Se analizaron los datos de 12 campañas realizadas durante el periodo 1998- 2004, realizándose aproximadamente 2 campañas por año en los meses de invierno y primavera. Las se realizaron en el marco del estudio de impacto costero ordenado por la Comisión Administradora del Río Uruguay y llevado a cabo por la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA), el Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada (SOHMA) de la República Oriental del Uruguay, y el Servicio de Hidrografía Naval (SHN) de Argentina.

Los parámetros físico-químicos determinados fueron: conductividad ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), pH, oxígeno disuelto ( $\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ ), alcalinidad ( $\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ ), dureza ( $\text{mg CaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ ), sólidos totales disueltos ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), nitratos ( $\text{mg N-NO}_3^-\cdot\text{L}^{-1}$ ), nitritos ( $\text{mg N-NO}_2^-\cdot\text{L}^{-1}$ ), amonios ( $\text{mg N-NH}_4^+\cdot\text{L}^{-1}$ ) y fosfatos ( $\text{mg P-PO}_4^{3-}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Además se determinaron iones mayoritarios sodio ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), potasio ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), calcio ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), magnesio ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), cloruro ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y sulfato ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ); y los metales cadmio ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), cobre ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), cromo ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y

plomo ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ). Asimismo, se cuantificó como parámetro microbiológico, a las bacterias coliformes fecales. Las técnicas analíticas aplicadas se presentan en la Tabla 1.

Parámetro	Técnica analítica	
Conductividad	APHA et al., (1981)	
pH	APHA et al., (1981)	
Oxígeno disuelto	APHA et al., (1981)	
Alcalinidad	APHA et al., (1981)	
Dureza	APHA et al., (1981)	
Material en Suspensión	APHA et al., (1981)	
Nitratos y nitritos	Aminot & Chaussepied, (1983)	
Amonio	Koroleff, (1972)	
Fosfato	Aminot & Chaussepied, (1983)	
Bacterias coliformes fecales	APHA et al., (1981)	
Iones mayoritarios	APHA et al., (1981)	
		Calcio
		Potasio
		Magnesio
		Sodio
Metales pesados	Espectrometría de Absorción Atómica. Horno de grafito. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, EPA-600/4-79-020 Serie 200 (modificados)(EPA, 1983)	
		Cloruro

Tabla 1. Parámetros (analizados) y métodos de análisis.

Table 1. Parameters and analytical methods

Los valores de los parámetros obtenidos en las campañas se analizaron mediante la distribución de los datos (David & Lyman, 1997). Se realizó el gráfico de Pípper (1944) para determinar el tipo de agua en relación a los iones mayoritarios. Se calculó el cociente de Redfield (1958) que es la relación molar Nitrógeno/Fósforo en todos los sitios de muestreo (Meybeck, 1982, 1993; Kempe, 1984).

Los valores de los parámetros estudiados se compararon con los valores de la línea de base del cauce principal determinada por Molina (2015) y con los valores de los estándares de calidad de agua para los diferentes usos definidos en el Digesto del

Río Uruguay adoptados por la Comisión Administradora del Río Uruguay (CARU) en 1986 y modificado en el 2006 (Tabla 2). Estos usos se corresponden a:

- **Uso 1**, es el agua cruda o bruta destinada al abastecimiento público con tratamiento convencional;
- **Uso 2**, es el agua para actividades de recreación con contacto directo;
- **Uso 3**, es el agua para actividades agropecuarias;
- **Uso 4**, es el agua destinada a la conservación y desarrollo de la vida acuática.

Variable	USO 1	USO 2	USO 3	USO 4
pH		6.5 a 8.3		6.5 a 9
Oxígeno				> 5.6 mg.L <sup>-1</sup>
Alcalinidad	500 mg.L <sup>-1</sup>			
Dureza total	200 mg.L <sup>-1</sup>			
Sólidos Totales Disueltos	500 mg.L <sup>-1</sup>		700 mg.L <sup>-1</sup>	
Nitratos	10 mg.L <sup>-1</sup>			
Bacterias coliformes fecales (UFC.100mL <sup>-1</sup> )	<2000	< 200	< 1000	
Cloruros	250 mg.L <sup>-1</sup>			
Cd				0.84 µg.L <sup>-1</sup>
Cr				10 µg.L <sup>-1</sup>
Cu				10 µg.L <sup>-1</sup>
Pb				7µg.L <sup>-1</sup>

**Tabla 2.** Estándares de calidad de agua para los diferentes usos definidos en el Digesto del Río Uruguay, adoptados por CARU en 1986 y modificado en el 2006.

**Table 2.** Water quality standards for different uses defined in the Uruguay River Digest and adopted by CARU in 1986 and modified in 2006

### Área de estudio

Los sitios de muestreo se seleccionaron considerando aguas abajo de los puntos críticos (lugares de vertido de efluentes, colectores y/o cuerpos de agua que transportan efluentes) próximos a los emplazamientos urbanos.

En la ciudad de Concordia, los sitios de muestreo fueron (Figura 1; CARU, 1998b):

- Arroyo Manzores: presenta características urbanas, recoge efluentes cloacales, aguas de escorrentía urbana, suburbana, efluentes industriales y vertidos de residuos sólidos.
- Colectores de saneamiento urbano: constituyen un sistema de saneamiento complejo que involucra tres sitios de vertido, siendo uno de ellos subacuático.
- Arroyo Yuquerí Chico: recibe los efluentes del parque industrial de la ciudad.

- Arroyo Yuquerí Grande: recibe los efluentes del cinturón suburbano y de zonas rurales próximas a la ciudad.

En esta ciudad en el periodo de estudio había 157291 personas (INDEC, 2008) y su economía estaba basada en la explotación ganadera, agrícola (cítricos, arroz, eucalipto y arándanos) e industrial donde predominan las industrias madereras y frigoríficas.

En la ciudad de Salto el único sitio muestreado se presenta en la Figura 1 (CARU, 1998a), dado que esta ciudad solamente posee una descarga cloacal urbana, que es el único sistema de recolección de efluentes domésticos, industriales y aguas de la red fluvial. Esta ciudad en el periodo estudiado tenía 99072 habitantes (INE, 2005). La actividad agrícola-ganadera es la principal fuente económica así como las industrias molineras, lácteas y de jugos.



Figura 1. Área de estudio y puntos de muestreo de las ciudades de Salto y Concordia.

Figure 1. Study area and sampling points in the cities of Salto and Concordia

En la ciudad de Paysandú, los sitios de muestreo seleccionados se muestran en la Figura 2 (CARU, 1999 a,b) y fueron:

- **Casablanca:** es el vertido del efluente del frigorífico homónimo, el cual en la época de mayor actividad vierte las aguas de la pileta de tratamiento primario.
- **Arroyo Juan Santos:** recoge las aguas de lixiviado del basurero municipal.
- **Arroyo Sacra:** recibe efluentes urbanos y además posee en su ribera asentamientos precarios.

- **Colector:** recoge las aguas de saneamiento, efluentes industriales y en su porción final el colector industrial de la ciudad.
- **Arroyo La Curtiembre:** recoge efluentes industriales y conexiones de saneamiento irregular.
- **Arroyo San Francisco:** recibe los lixiviados de la planta de incineración de residuos hospitalarios, la planta de ANCAP de Cemento Portland y de terrenos de uso agrícola próximos.

Esta ciudad poseía aproximadamente 113294 habitantes en el periodo de estudio (INDEC, 2008) y su economía estaba basada en la explotación agrícola-ganadera, y en la presencia de un parque industrial donde se asentaban curtiembres, aceiteras, cervecerías, ingenio azucarero, textiles, cítricos, frigoríficos, entre otras industrias.

La ciudad de Colón estaba habitada en el periodo estudiado por 52718 habitantes (INDEC, 2008) y su economía estaba basada en la actividad agrícola-ganadera y en menor medida por industrias. Es por ello que el sitio de muestreo seleccionado fue el Arroyo La Leche, el cual recoge el efluente

de la planta de tratamiento de aguas de saneamiento y los efluentes industriales, así como la escorrentía de las tierras de uso agrícola (CARU, 1999 a,b).

En la ciudad de Concepción del Uruguay, en el periodo estudiado, se asentaban aproximadamente 94.070 habitantes (INDEC, 2008). En dicha ciudad se emplaza un parque industrial que posee frigoríficos avícolas, agroindustrias, molinos, aceiteras, madereras, metalúrgicas entre otras industrias. Por este motivo se seleccionó como sitio de muestreo el Arroyo La China, que recoge los efluentes del parque industrial así como las aguas servidas domésticas de la ciudad (Figura 2).



Figura 2. Área de estudio y puntos de muestreo de las ciudades de Colón, Paysandú y Concepción del Uruguay.

Figure 2. Study area and sampling points in Colón, Paysandú and Concepción del Uruguay.

En la ciudad de Fray Bentos los sitios de muestreo seleccionados fueron (Figura 3; CARU, 1999 a,b):

- Balneario Las Cañas: posee importancia turística
- Colector de la ciudad: recoge los vertidos cloacales de la ciudad

En esta ciudad en el periodo estudiado, se asentaban aproximadamente 23122 habitantes (INDEC, 2008) y su economía se basaba en el turismo principalmente y en la explotación agrícola-ganadera.

En la ciudad de Gualeguaychú, habitaban 157291 personas en el periodo estudiado (INDEC, 2008) y su economía se basaba en la producción de soja y en el funcionamiento de un parque industrial (plantas textiles, metalúrgicas, químicas, alimenticias, papel, entre otras). En esta ciudad se seleccionó como sitio de muestreo en la margen argentina la desembocadura del Río Gualeguaychú (Figura 3). Esta elección se basa en que si bien la ciudad no se encuentra en la margen del Río Uruguay, el Río Gualeguaychú transporta la mayoría de las descargas de esta ciudad hacia el Río Uruguay.



Figura 3. Área de estudio y puntos de muestreo de las ciudades de Gualeguaychú y Fray Bentos.

Figure 3. Study area and sampling points in Gualeguaychú and Fray Bentos

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Río Uruguay presentó en el periodo estudiado a un caudal promedio anual de  $5501 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , con mínimos de  $645 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  y máximos de  $19204 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Esa variación se debe a que es un río de alimentación pluvial (Calcagno *et al.*, 2000), donde las abundantes precipitaciones en la alta cuenca son irregulares y están influenciadas por el Sistema Monzónico de América del Sur (Raia & Cavalcanti, 2008).

La temperatura en los sitios de muestreo coincidió con la determinada para el curso principal por Molina (2015), caracterizada por valores promedio de  $25.7 \text{ }^\circ\text{C}$  en verano

y  $15.5 \text{ }^\circ\text{C}$  en invierno, con un gradiente norte-sur de disminución de temperatura a lo largo del río, debido a una disminución real de la temperatura ambiente.

La conductividad en cada sitio muestreado se presenta en la Figura 4. En dicha figura se observa que la conductividad es en general mayor a la conductividad media ( $53.3 \text{ } \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) del cauce principal Río Uruguay determinada por Molina (2015) e inclusive supera esporádicamente los valores máximos del cauce principal ( $170 \text{ } \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ). En las ciudades de Concordia, Paysandú y Guaqueguaychú presentan los mayores valores, que llegan a ser una a dos órdenes de magnitud sobre la media del río.

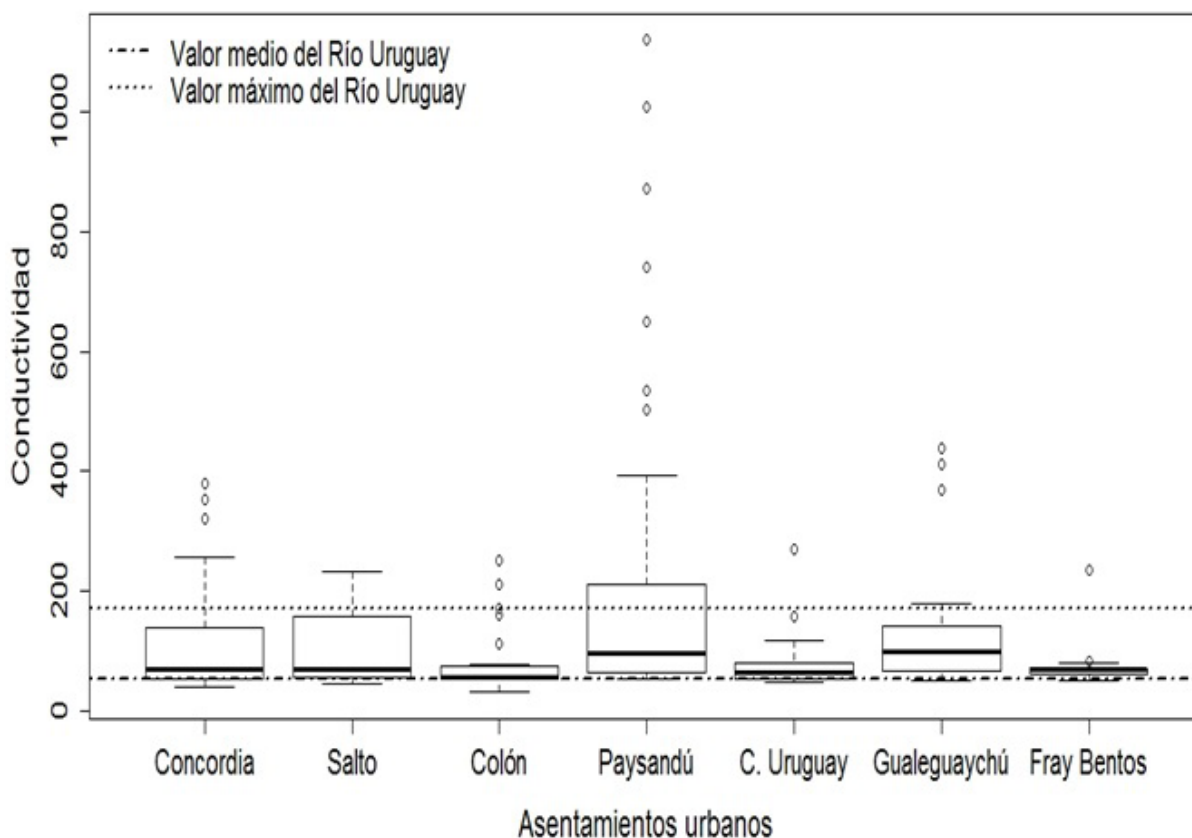


Figura 4. Diagrama de cajas de la conductividad ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) en las descargas de las ciudades estudiadas.

Figure4. Conductivity boxplot ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ) for the discharges in the studied cities



Los valores de pH, oxígeno disuelto, alcalinidad, dureza, y sólidos totales disueltos se presentan en la Tabla 3, mientras que los valores de nutrientes (nitratos, nitritos, amonios y fosfatos) y bacterias coliformes fecales se presentan en la Tabla 4.

Parámetro		Río Uruguay*	Concordia	Salto	Colón	Paysandú	Concepción del Uruguay	Gualeguaychú	Fray Bentos
pH	Media	7.09	6.86	6.86	7.03	7.15	7.11	7.36	7.17
	Mediana	7.10	7.30	6.85	7.20	7.10	7.30	7.35	7.10
	Mínimo	5.96	5.80	6.20	6.00	6.20	5.80	6.50	6.50
	Máximo	8.20	7.80	7.40	8.40	9.80	7.80	8.70	8.30
Oxígeno disuelto (mg O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	Media	3.5	7.71	8.03	8.80	7.16	8.00	8.66	8.55
	Mediana	2.5	7.75	8.30	9.10	7.60	8.10	8.85	8.50
	Mínimo	0.1	4.40	6.90	5.60	0.00	4.80	6.20	7.10
	Máximo	20.0	9.30	9.60	9.80	10.4	10.8	10.9	11.1
Alcalinidad (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	Media	23	33.9	29.6	35.4	95.6	33.6	48.1	34.1
	Mediana	22	23.6	22.0	25.0	38.0	27.5	36.0	30.0
	Mínimo	2	19.0	15.9	15.0	24.0	20.0	17.0	21.0
	Máximo	71	118	54	120	1100	82	196	79.0
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	Media	-	27.5	26.4	32.6	68.3	33.3	32.5	30.2
	Mediana	-	22.0	27.0	24.6	34.5	25.5	33.0	26.0
	Mínimo	-	16.0	20.0	17.0	22.0	18.0	23.0	22.0
	Máximo	-	65.0	36.0	98.9	410.0	163.0	54.6	88.0
Sólidos totales disueltos (mg.L <sup>-1</sup> )	Media	95	148	144	115	218	118	165	128
	Mediana	89	140	147	110	150	120	120	110
	Mínimo	5	0.02	0.1	0.05	0.04	0.05	0.06	0.03
	Máximo	253	330	250	190	2280	220	420	400

Tabla 4. Valores estadísticos de distribución de nutrientes y bacterias coliformes fecales. \*Datos Molina (2015).

Table 4. Statistical distribution values of nutrients and fecal coliforms bacteria. \*Data Molina (2015).

El pH (Figura 5) de las descargas de las ciudades de Concordia, Salto, Colón y Paysandú presenta valores más bajos (<6.5) que lo recomendado por la CARU para el uso 2, que es el uso más restrictivo en relación

al pH. Además, se observa en los sitios de muestreo próximos a Concepción del Uruguay valores esporádicos de descargas ácidas y valores más altos en las ciudades de Colón, Paysandú y Gualeguaychú.

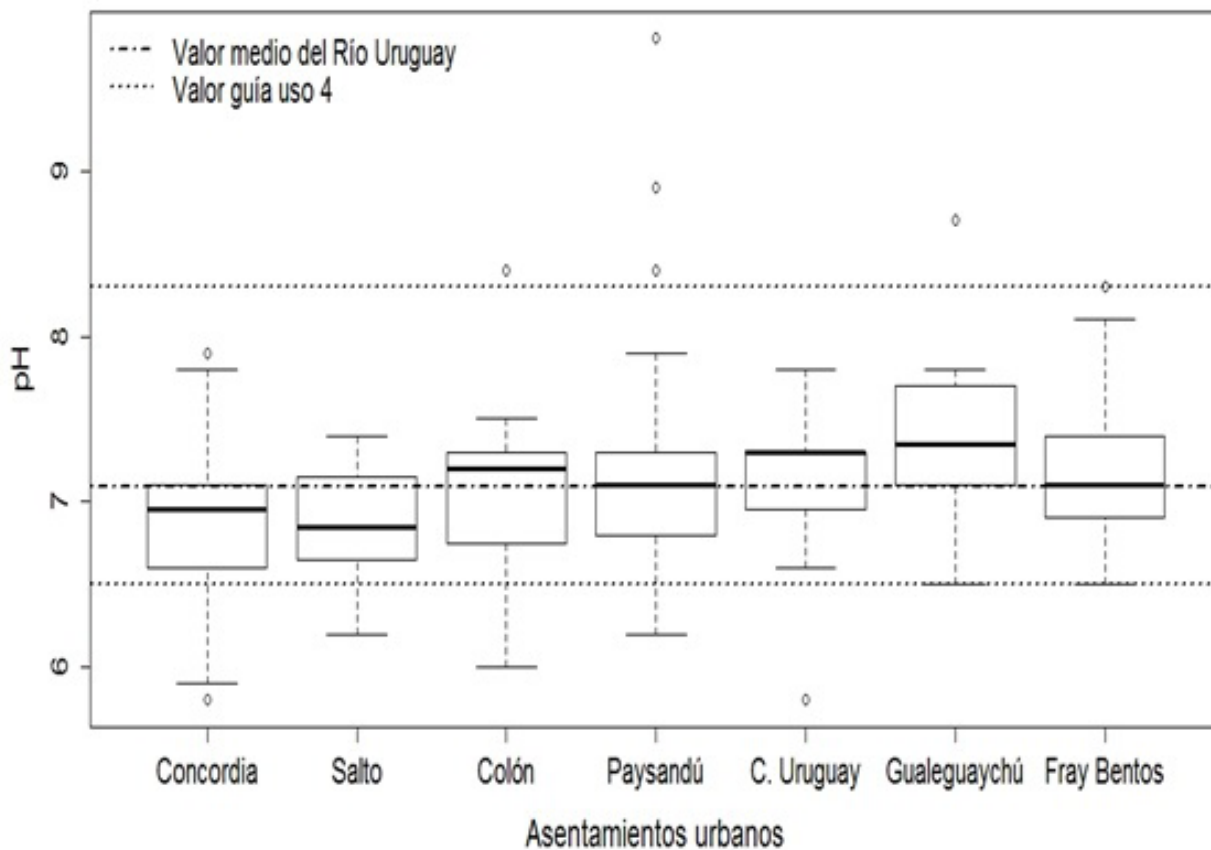


Figura 5. Diagrama de cajas del pH en las descargas de las ciudades estudiadas.

Figure 5. Boxplot of pH for the discharges in the studied cities.

Con respecto al oxígeno disuelto (Figura 6), las descargas con escaso tratamiento o directamente sin tratamiento, presentan valores de baja concentración de oxígeno disuelto con mínimos inferiores a lo aconsejado para el uso 4 de la CARU (5.6 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>) en las ciudades de Concordia, Concepción del Uruguay y Paysandú. En esta

última ciudad inclusive, se determinaron valores correspondientes a aguas anóxicas (mínimo de 0 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>), las cuales muestran repercusión directa sobre cauce principal del Río Uruguay hallando valores mínimos de 0,1 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> en las proximidades a esta ciudad (Molina, 2015).

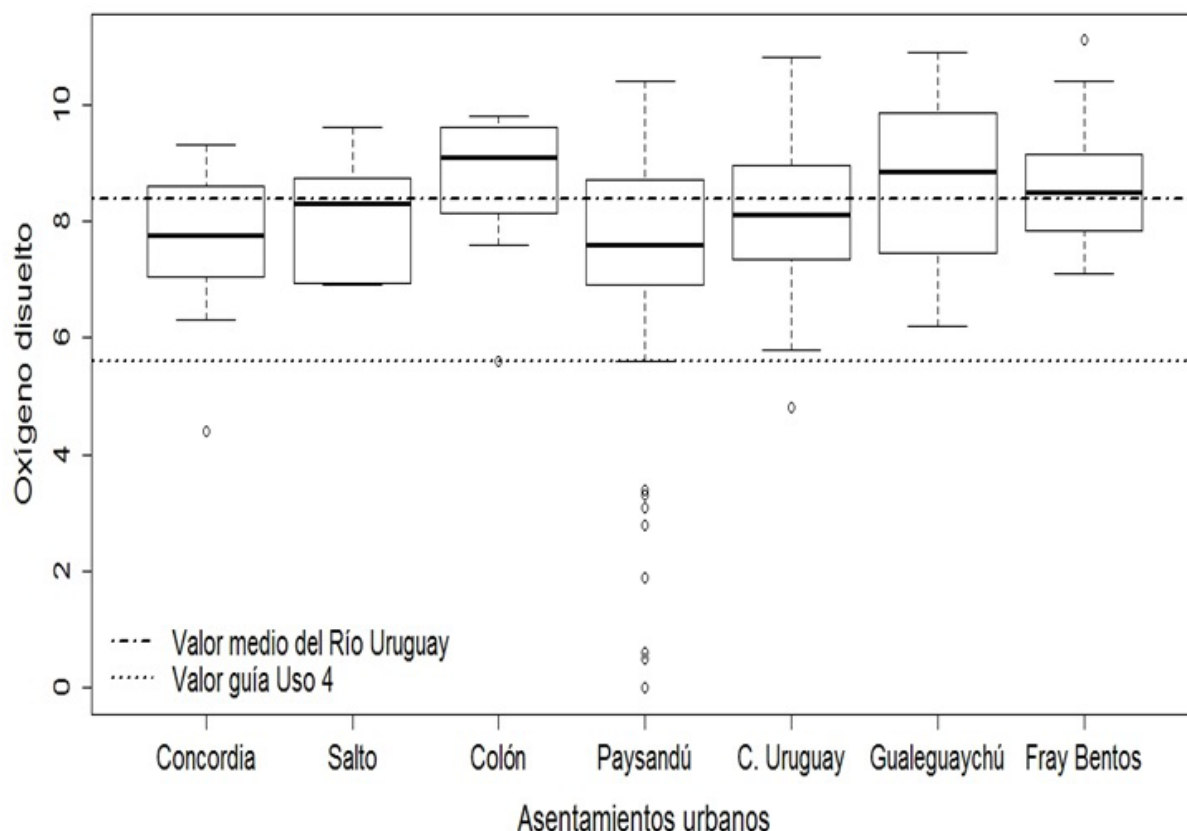
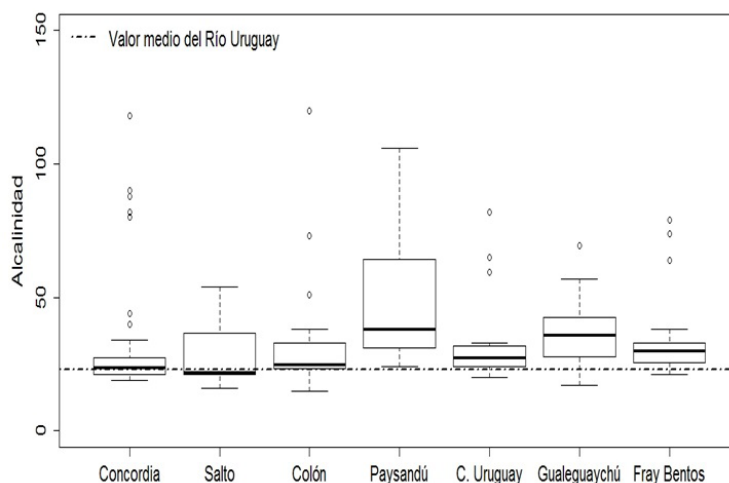


Figura 6. Diagrama de cajas del oxígeno disuelto (mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>) en las descargas de las ciudades estudiadas.

Figure 6. Dissolved oxygen boxplot for (mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>) the discharges in the studied cities.

Los valores medios de alcalinidad determinados en todos los sitios de muestreo (Figura 7), superan los valores medios (23 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>) del cauce principal del río (Molina, 2015). La ciudad de Paysandú

presentó valores esporádicos con máximos de 1100 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> que superan los valores límites sugeridos por la CARU para el uso 1 (500 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>).

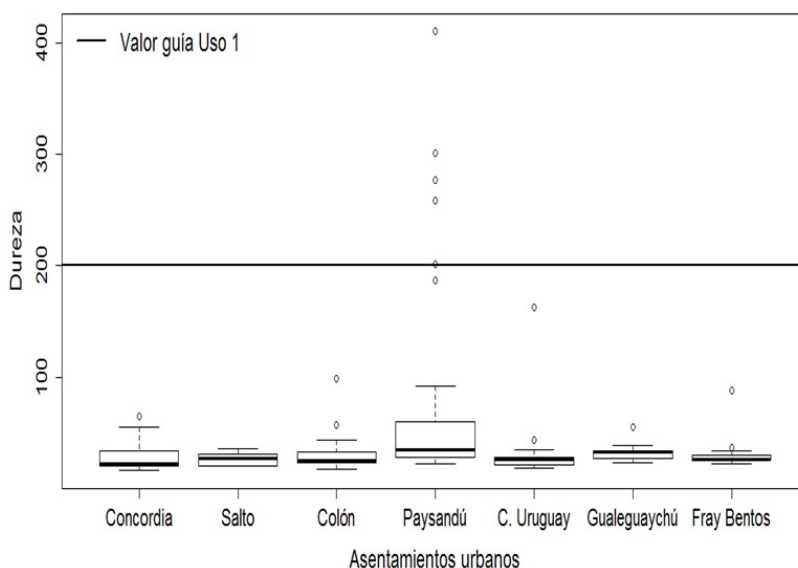


**Figura 7.** Diagrama de cajas de la alcalinidad (mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>) en las descargas de las ciudades estudiadas. \*Si bien los valores de alcalinidad alcanzan los 1100 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>, el eje se acotó para una mejor visualización de la distribución del resto de los datos.

**Figure 7.** Alkalinity boxplot of alkalinity (mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>) for the discharges in the studied cities. \*Although the values of alkalinity reach 1100 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>, the axis was reduced for a better view of the distribution of the remaining data.

Los niveles de dureza hallados (Figura 8) en general son menores a los sugeridos por la CARU para el uso 1 (200 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>) a

excepción de algunas muestras de la ciudad de Paysandú que duplican el valor del límite sugerido.



**Figura 8.** Diagrama de cajas de la dureza (mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>) en las descargas de las ciudades estudiadas.

**Figure 8.** Hardness Boxplot (mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>) for the discharges in the studied cities

Los sólidos totales disueltos presentan similar tendencia que la dureza (Figura 9), los cuales cuadriplican el valor en algunas muestras de la ciudad de Paysandú superando el límite sugerido por la CARU para el uso 1 de 500 mg.L<sup>-1</sup>.

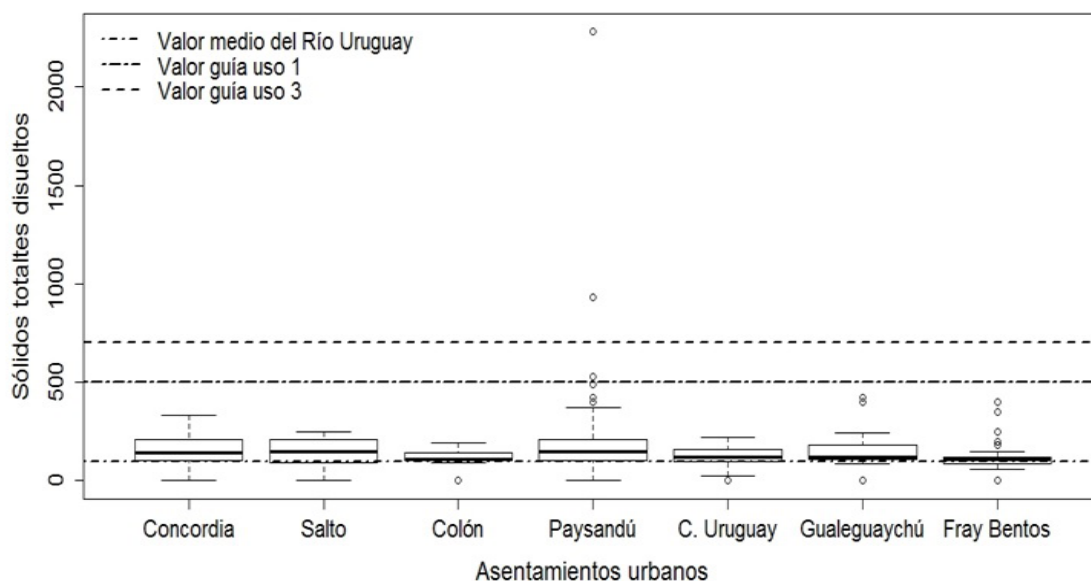


Figura 9. Diagrama de cajas de sólidos disueltos totales (mg.L<sup>-1</sup>) en las descargas de las ciudades estudiadas.

Figure 9. Boxplot of total dissolved solids (mg.L<sup>-1</sup>) for the discharges in the studied cities

En el caso de los nutrientes se observa que las concentraciones medias de nitritos, amonios y fosfatos (Tabla 3), superan en 2 o más veces los valores medios del cauce principal del Río Uruguay (Molina, 2015), no así el nitrato.

sobre el río presentan valores entre 4 y 9, siendo menores que los del cauce principal (16) lo que se observa en la Figura 10. Estos valores sugieren la presencia de un alto contenido de fosfatos de las descargas, siendo las aguas de las ciudades de Paysandú y Concordia las más afectadas, ya que de este curso de agua se colecta el agua de bebida para la ciudad.

El cociente de Redfield (1958) permite observar que las descargas de las ciudades

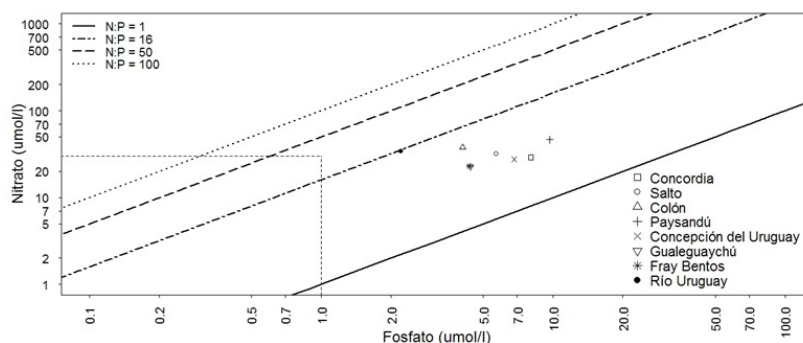
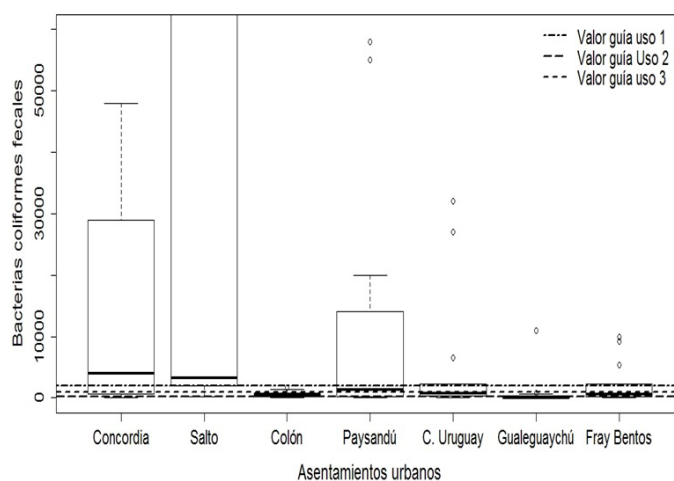


Figura 10. Relación de fosfatos vs nitratos en las descargas de las ciudades estudiadas en comparación al cauce del Río Uruguay.

Figure 10. Phosphates and nitrates ratio for the discharges in the studied cities compared with the bed of Uruguay River

La concentración de bacterias coliformes fecales (Figura 11) halladas en todos los sitios de muestreo superan generalmente el valor sugerido por la CARU para el uso 2 (200 UFC.100 mL<sup>-1</sup>) que es el uso más restrictivo. Por eso la utilización del agua del río como fuente de agua para consumo humano

(Uso1) en las ciudades de Concordia, Salto, Paysandú, Concepción del Uruguay y Fray Bentos estaría comprometido de mantenerse esta tendencia con el potencial impacto que la misma puede tener en la salud pública de la población.



**Figura 11.** Diagrama de cajas de bacterias coliformes fecales (UFC.100 mL<sup>-1</sup>) en las descargas de las ciudades estudiadas. \*Si bien los valores de bacterias coliformes fecales alcanzan los 1000000 UFC.100 mL<sup>-1</sup>, el eje y se acotó para una mejor visualización de la distribución del resto de los datos.

**Figure 11.** Boxplot of fecal coliforms bacteria (UFC.100 mL<sup>-1</sup>) for the discharges in the studied cities. \*Although de values of fecal coliforms reaches 1000000 UFC.100 mL<sup>-1</sup>, the axis was reduced for a better view of the distribution of the remaining data.

La composición de iones mayoritarios (sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sulfato) en los sitios de muestreo (Tabla 5) presenta una composición similar a la del cauce principal del Río Uruguay (Molina,

2015). Se trata, en general, de aguas bicarbonatadas-cálcicas-magnésicas. A excepción de la ciudad de Paysandú que presenta mayores contenidos de calcio en relación al bicarbonato.

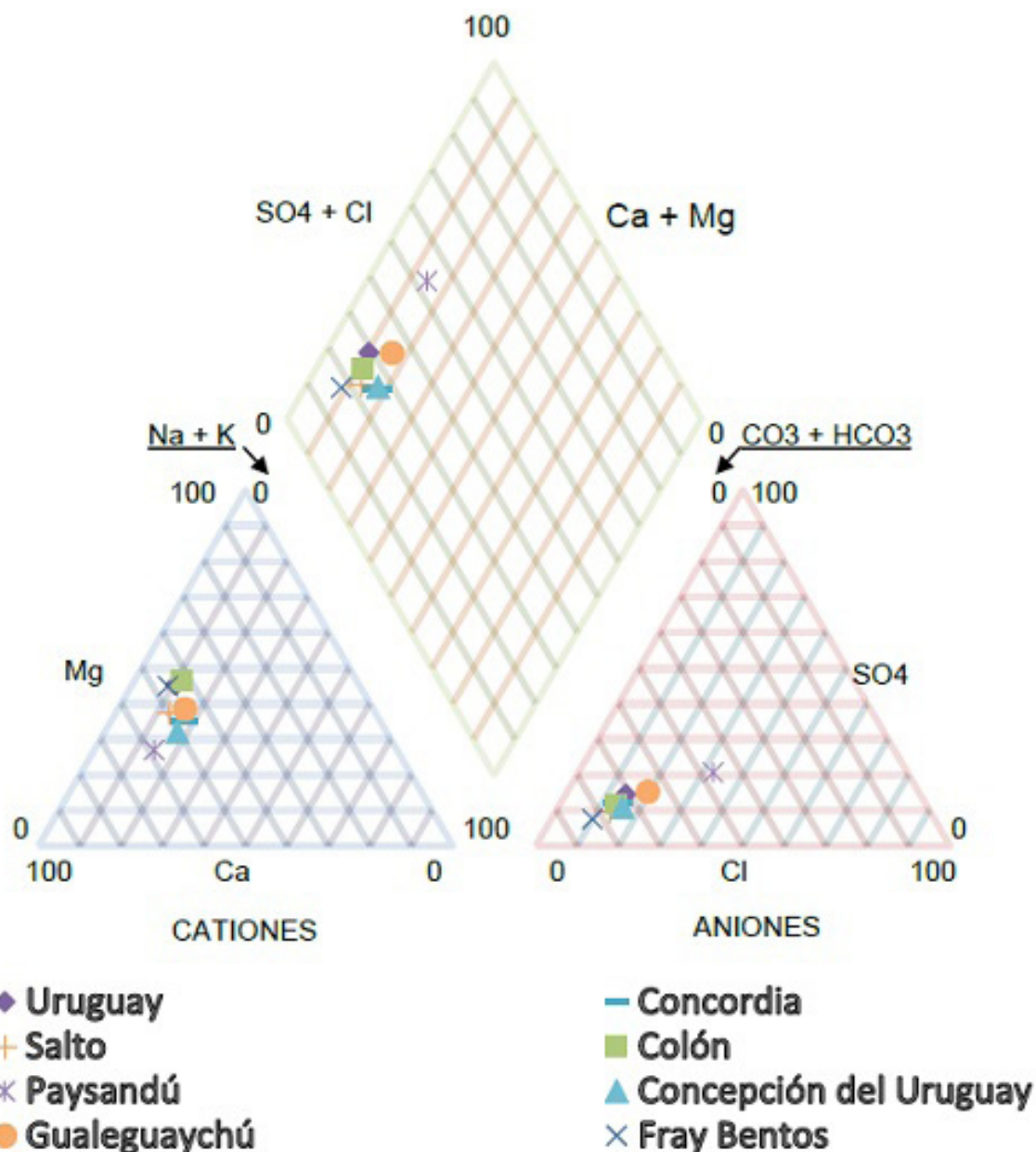
Parámetros químicos (mg.L <sup>-1</sup> )	Río Uruguay*	Concordia	Salto	Colón	Paysandú	Concepción del Uruguay	Gualeguaychú	Fray Bentos
Bicarbonatos	25.55	30.00	27.00	25.6	26.90	26.30	27.20	26.90
Sulfatos	4.12	3.86	2.68	3.16	9.32	3.10	4.99	1.94
Cloruros	3.04	3.25	2.63	2.69	10.82	3.20	4.69	1.88
Nitratos	0.49	0.41	0.45	0.53	0.65	0.39	0.32	0.32
Sodio	3.29	4.45	2.90	4.96	12.57	7.74	6.82	3.11
Potasio	1.64	1.86	1.18	1.31	3.01	1.79	2.07	1.21
Calcio	12.13	10.39	9.71	16.22	44.35	19.38	16.69	14.23
Magnesio	7.47	4.65	4.40	10.84	12.36	7.43	8.57	8.36

**Tabla 5.** Valores medios de los iones mayoritarios. \*Datos Molina (2015).

**Table 5.** Mean values of major ions. \*Data Molina (2015).

En las ciudades de Colón, Paysandú, Concepción del Uruguay, Gualedguaychú y Fray Bentos se observa que la concentración de elementos mayoritarios es mayor a la determinada en el cauce principal del Río Uruguay (Molina, 2015). La presencia de

concentraciones mayores se debe al aumento del contenido de cationes. El resto de las ciudades presentan descargas medias, con contenidos similares en la carga de iones. Esto mismo se puede observar en el gráfico de Piper (Figura 12).



**Figura 12.** Gráfico de Piper, muestra la composición iónica porcentual de las descargas de las ciudades estudiadas en comparación al cauce del Río Uruguay.

**Figure 12.** Piper plot shows percentage ionic composition for the discharges in the studied cities compared with the bed of Uruguay River

Las concentraciones de los metales cadmio, cobre, cromo, y plomo se presentan en la Tabla 6.

Metales ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )		Río Uruguay*	Concordia	Salto	Colón	Paysandú	Concepción del Uruguay	Gualeguaychú	Fray Bentos
<b>Cadmio</b>	Media	0.140	0.080	0.058	0.166	0.105	0.138	0.128	0.213
	Mediana	0.090	0.030	0.055	0.070	0.090	0.075	0.064	0.065
	Mínimo	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
	Máximo	0.730	0.440	0.110	1.540	0.490	0.492	0.359	1.600
<b>Cobre</b>	Media	6.6	5.3	4.7	3.9	8.0	5.4	15.9	10.1
	Mediana	6.0	4.7	4.8	2.1	3.2	4.7	5.3	7.8
	Mínimo	0.10	1.0	1.1	0.80	0.30	1.4	1.0	1.8
	Máximo	36.4	18.0	9.9	14.9	120	10.2	121	32.0
<b>Cromo</b>	Media	3.1	6.9	3.9	770	266	3.1	3.5	4.8
	Mediana	2.1	4.5	3.1	2.7	4.8	2.9	1.8	3.2
	Mínimo	0.10	0.20	1.8	0.55	0.25	0.25	0.78	0.25
	Máximo	16.3	36.3	6.8	13041	7564	8.4	11.5	15.8
<b>Plomo</b>	Media	2.8	3.0	3.3	1.9	4.7	2.4	3.9	3.8
	Mediana	2.0	1.8	2.2	1.4	2.1	2.0	1.9	1.7
	Mínimo	0.10	0.05	0.68	0.10	0.10	0.40	0.59	0.10
	Máximo	22.4	8.9	7.9	5.7	62.1	10.4	20.2	17.7

\*Datos determinados por Molina (2015)

**Tabla 6.** Valores estadísticos de distribución de los metales pesados. \*Datos Molina (2015).

**Table 6.** Statistical distribution values of heavy metals. \*Data Molina (2015).



El cadmio (Figura 13) presenta valores superiores al límite aconsejado por la CARU para el uso 4 ( $0.84 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) en casos aislados en las ciudades de Concordia, Paysandú, Concepción del Uruguay, Gualaguaychú y Fray Bentos.

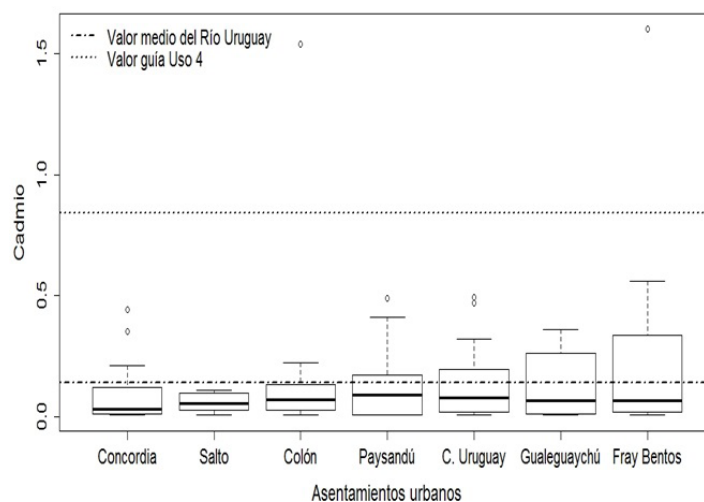


Figura 13. Diagrama de cajas del cadmio ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) en las descargas de las ciudades estudiadas.

Figure 13 Boxplot of cadmium ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) for the discharges in the studied cities.

El cobre (Figura 14) presenta valores medios superiores al límite aconsejado por la CARU para la protección a la biota acuática (uso 4,  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) en las ciudades de Fray Bentos y Gualaguaychú. En las ciudades de Concordia y Paysandú muchas de las determinaciones superan este límite. Sin embargo, en los casos de Colón y Concepción del Uruguay sólo superan el límite en forma esporádica. Los valores medios de las concentraciones de cobre de las ciudades de Paysandú, Gualaguaychú y Fray Bentos son superiores a los valores medios obtenidos para el cauce principal del río (Tabla 6).

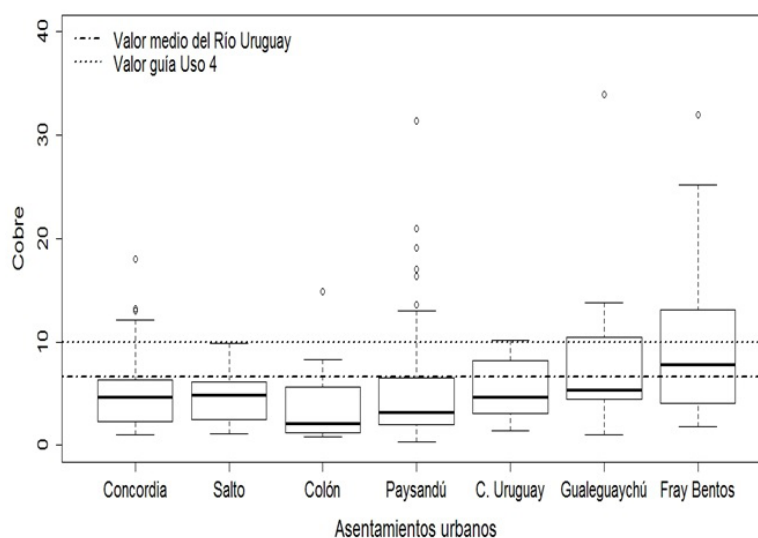
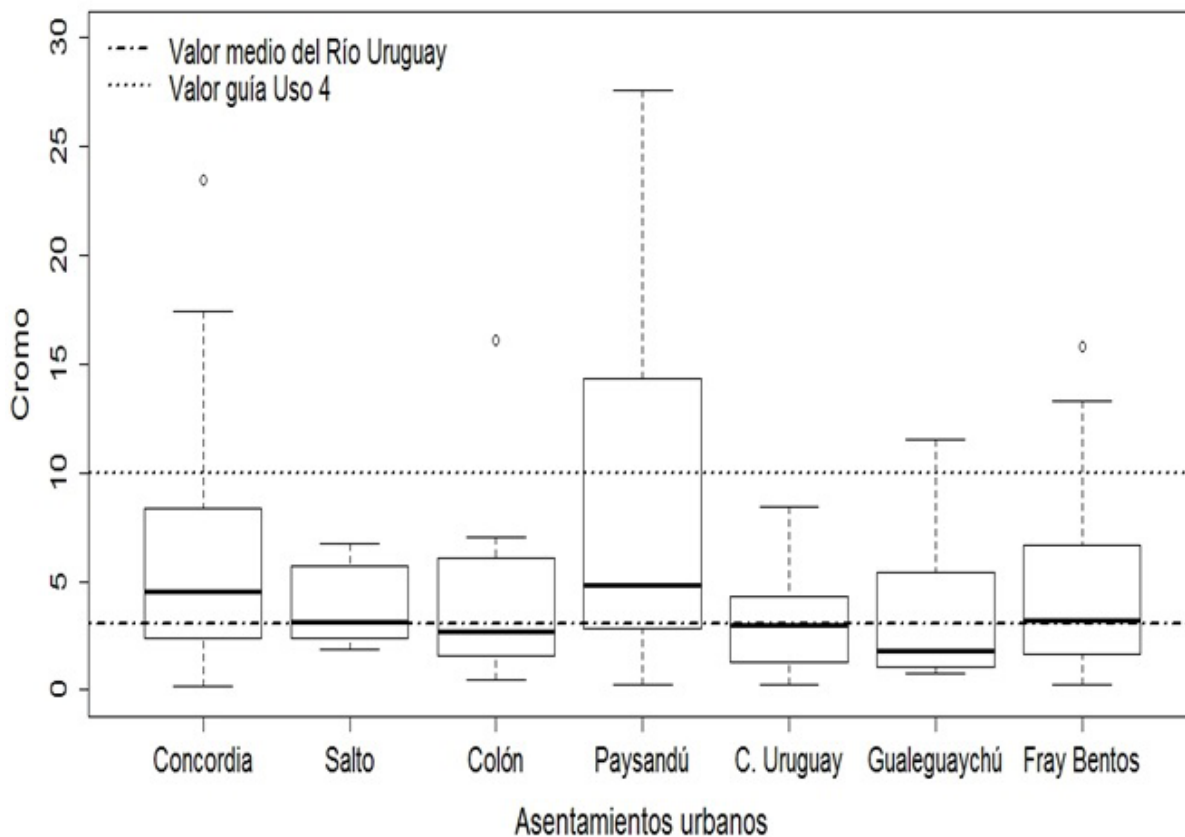


Figura 14. Diagrama de cajas del cobre ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) en las descargas de las ciudades estudiadas. \*Si bien los valores de cobre alcanzan los  $121 \mu\text{g.L}^{-1}$ , el eje y se acotó para una mejor visualización de la distribución del resto de los datos.

Figure 14. Copper boxplot of copper ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) for the discharges in the studied cities. \*Although the values of copper reach  $121 \mu\text{g.L}^{-1}$ , the axis was reduced for a better view of the distribution of the remaining data.

El cromo (Figura 15) presenta valores medios de dos órdenes de magnitud superiores ( $>100 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) al límite aconsejado por la CARU para el uso 4 ( $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) en las ciudades de Colón y de Paysandú. Además, se detectan (Figura 15) varios episodios donde

se superaron estos límites en las ciudades de Concordia, Gualeguaychú y Fray Bentos. Con respecto al cauce principal, sólo las ciudades de Concepción y Salto presentan valores similares (Tabla 6).



**Figura 15.** Diagrama de cajas del cromo ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) en las descargas de las ciudades estudiadas. \*Si bien los valores de cromo alcanzan los  $7564.50 \mu\text{g.L}^{-1}$ , el eje y se acotó para una mejor visualización de la distribución del resto de los datos.

**Figure 15.** Boxplot of chrome ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) for the discharges in the studied cities. \*Although the values of chrome reach  $7564.50 \mu\text{g.L}^{-1}$ , the axis was reduced for a better view of the distribution of the remaining data.

Las concentraciones de plomo (Figura 16) presentan esporádicamente valores superiores al límite aconsejado por la CARU para la protección de la biota (uso 4,  $0.84 \mu\text{g.L}^{-1}$ ) en todos los sitios de muestreo a

excepción de la ciudad de Colón. Sin embargo, la ciudad de Paysandú es la única que presenta valores que duplican y sextuplican las concentraciones encontradas en el cauce principal del río (Tabla 6).

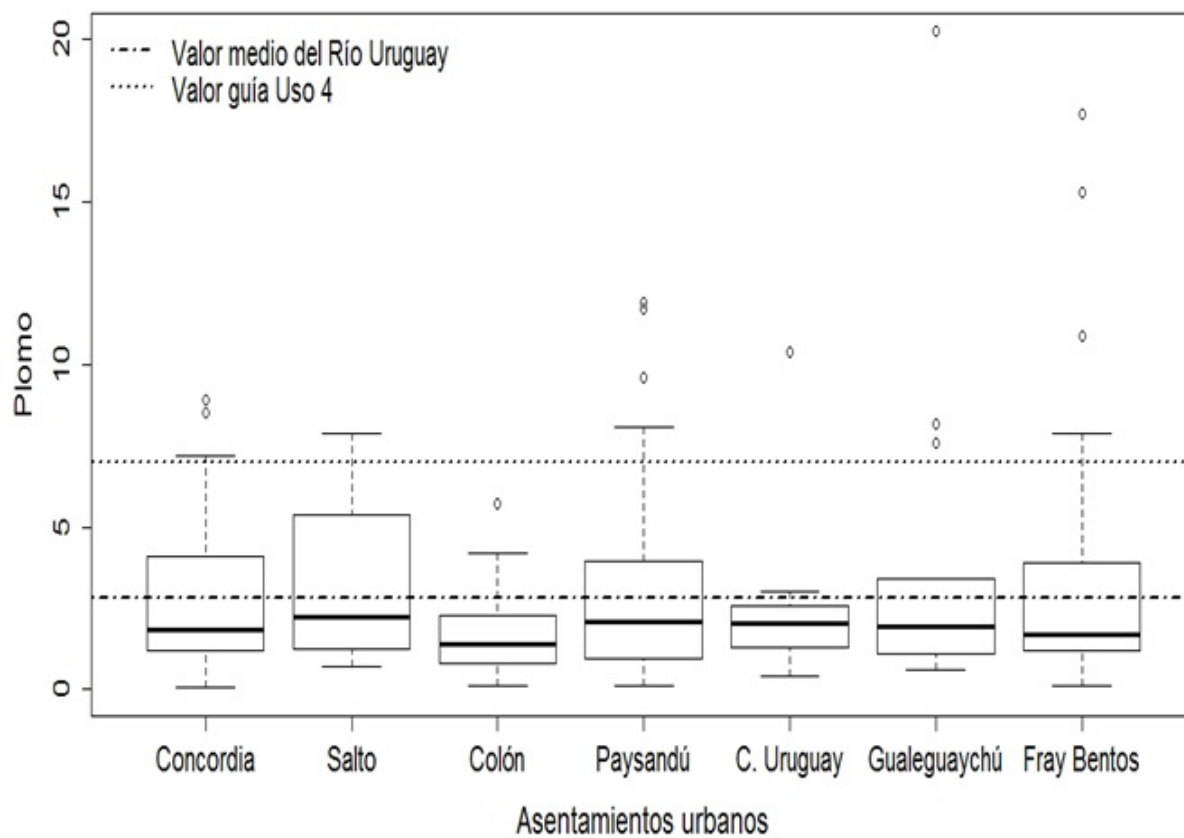


Figura 16. Diagrama de cajas del plomo ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) en las descargas de las ciudades estudiadas.

Figure 16. Boxplot of lead ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ ) for the discharges in the studied cities

## CONCLUSIONES

Las siete ciudades asentadas en las márgenes del Río Uruguay producen diferente influencia sobre la calidad de las aguas costeras del río. Los sitios de muestreo asociados a las ciudades de Concordia en la República Argentina y de Paysandú en la República Oriental del Uruguay son los que poseen valores superiores a los parámetros recomendados por la CARU para garantizar la calidad del agua con destino a abastecimiento público con tratamiento convencional.

La ciudad de Gualeguaychú es un caso particular, dado que la descarga de este asentamiento urbano se produce en forma indirecta sobre el Río Uruguay. Sin embargo, a pesar de presentar un fenómeno de dilución debido al Río Gualeguaychú, los valores de los parámetros determinados son relativamente elevados, al punto que se ve comprometida la vida acuática en las inmediaciones de la descarga del Río Gualeguaychú al Río Uruguay.

Otro caso particular es la ciudad de Fray Bentos, que, si bien es una ciudad de importancia turística, los valores de los parámetros determinados en su costa superan los niveles máximos estipulados por la CARU para aguas destinadas a uso recreativo.

Es de destacar que, si bien se observa una influencia importante de las descargas de las siete ciudades sobre el río, el cauce principal está influenciado leve a moderadamente, ya que en relación a lo determinado por Molina (2015) no hay grandes alteraciones. Esto podría ser producto de la autodepuración del río debido principalmente a su cauce, sin embargo, se debieran implementar medidas de manejo y tratamiento de efluentes de las ciudades a fin de garantizar la calidad del agua del Río Uruguay, así como un plan de monitoreo sistemático permanente.

## AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Administradora del Río Uruguay por permitirnos participar en el monitoreo de los sitios de muestreo y por permitirnos utilizar los datos para esta publicación. Al CONICET, la UBA, y ANPCYT por el financiamiento parcial de este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agostinho AA, Gomes LC, Pelicice FM, Souza-Filho EE & Tomanik EA. 2008. Application of the eco hydrological concept for sustainable development of tropical floodplains: the case of the upper Paraná River basin. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 8 (2): 205-223
- Agostinho AA, Bonecker CC & Gomes LC. 2009. Effects of water quantity on connectivity: the case of the upper Paraná River floodplain. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 9 (1): 99-113
- Alarcón JJ, Szupiany R, Montagnini MD, Gaudin H, Prendes HH & Amsler ML. 2003. Evaluación del transporte de sedimentos en el tramo medio del Río Paraná. *Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*. Ezeiza, Argentina: 15 p
- Aminot A & Chaussepied M 1983. *Manuel des analyses chimiques en milieu marin*. Brest, CNEXO: 395 p
- APHA-AWWA-WPCF (American Public Health Association, American Waters Works Association and Water Pollution Control Federation). 1981. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. APHA, 15 ed, EEUU: 1134 p
- Baigún CR, Puig A, Minotti PG, Kandus P, Quintana R, Vicari R, Bo R, Oldani NO & Nestler JA. 2008. Resource use in the Parana River Delta (Argentina): moving away from an ecohydrological approach? *Ecohydrology and Hydrobiology*, 8 (2): 245-262
- Ballester MVR, de C Victoria D, Krusche AV, Coburn R, Victoria RL, Richey JE, Logsdon MG, Mayorga E & Matricardi E. 2003. A remote sensing/ GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Parana river basin (Western Amazonia). *Remote Sensing of Environment*, 87 (4): 429-445
- Berri GJ, Ghietto MA & García NO. 2002. The influence of ENSO in the flows of the upper Paraná River of South America over the past 100 years. *Journal of Hydrometeorology*, 3 (1): 57-65
- Bonetto C, De Cabo L, Gabellone N, Vinocur A, Donadelli J & Unrein F. 1994. Nutrient dynamics in the deltaic floodplain of the Lower Paraná River. *Archiv für Hydrobiologie*, 131 (3): 277-295
- Bonetto C, Villar C, de Cabo L & Vaithiyanathan P. 1998. Hydrochemistry of a large floodplain river. *Ver. Internationale Limnology*. 26: 899-902
- Bucher EH & Huszar PC. 1995. Critical environmental costs of the Paraguay-Paraná waterway project in South America. *Ecological Economics* 15 (1): 3-9
-

- Calcagno A, Novillo MG & Mendiburo N. 2000. *Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina*. Comité Asesor Técnico de América del Sur (SAMTAC), Global Water Partnership (GWP), UNESCO, Buenos Aires, Argentina. Camilloni IA & Barros VR. 2003. Extreme discharge events in the Paraná River and their climate forcing. *Journal of Hydrology*, 278 (1): 94-106
- CARU (Comisión Administradora del Río Uruguay). 1998a. Informe técnico "Calidad de Aguas de las Zonas Costeras del Río Uruguay. Parámetros Bacteriológicos y Tóxicos". Argentina, Buenos Aires: 36 p
- CARU (Comisión Administradora del Río Uruguay). 1998b. Informe técnico "Impacto de Zonas Costeras. Módulo: Salto-Concordia". Buenos Aires, Argentina: 28 p
- CARU (Comisión Administradora del Río Uruguay). 1999a. Informe técnico "Evaluación de Puntos Críticos y PROCON". Buenos Aires, Argentina: 39 p
- CARU (Comisión Administradora del Río Uruguay). 1999b. Informe técnico "Impacto de Zonas Costeras. Módulo: Colón-Paysandú-Concepción del Uruguay". Buenos Aires, Argentina: 32 p
- CARU (Comisión Administradora del Río Uruguay). 2006. Digesto sobre usos del Río Uruguay. Buenos Aires, Argentina: 203 p
- Cataldo D, Colombo JC, Boltovskoy D, Bilos C & Landoni P. 2001. Environmental toxicity assessment in the Paraná river delta (Argentina): simultaneous evaluation of selected pollutants and mortality rates of *Corbicula fluminea* (Bivalvia) early juveniles. *Environmental Pollution*, 112 (3): 379-389
- Caviedes CN. 1998. Influencia de ENSO sobre las variaciones interanuales de ciertos ríos en América del Sur. *Bull. de l'Institut Français d'Etudes Andines*, 27: 627-642
- CFI (Consejo Federal de Inversión). 1962. Recursos hidráulicos superficiales. Volumen 1. Serie Evaluación de los Recursos Naturales de Argentina, Tomo IV. CFI. Buenos Aires, Argentina: 459 p
- Chiozza E & Figueira R. 1981. *Atlas total de la República Argentina*. Centro Editor de América Latina, Buenos Aires, Argentina
- David H & Lyman O. 1997. *Estadística Aplicada a la Administración ya la economía*. Editorial Addison-Wesley Iberoamericana, Madrid, España: 943 p
- Depetris PJ. 1976. Hydrochemistry of the Paraná river. *Limnology and Oceanography*, 21 (5): 736-739
- Depetris PJ, Kempe S, Latif M & Mook WG. 1996. ENSO-controlled flooding in the Paraná River (1904-1991). *Naturwissenschaften*, 83 (3): 127-129
- Garcia CM. 2011. Climatic water balance four

- microregions the west of the state of Parana/Brazil (Period 1988-1998). *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 19: 608-616
- EPA. 1983. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United State Environmental Protection Agency, Cincinnati, United State: 491 p
  - INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2008. Estimaciones de población por departamento y año calendario: Período 2001-2010. INDEC, Buenos Aires, Argentina: 24 p
  - INE (Instituto Nacional de Estadística). 2005. Uruguay en cifras 2005. INE, Uruguay: 49 p
  - Iriondo M. 2004. The littoral complex at the Paraná mouth. *Quaternary International*, 114 (1): 143-154
  - Iwahita F, Friedel MJ, de Souza Filho CR & Fraser SJ. 2011. Hillslope chemical weathering across Paraná, Brazil: a data mining-GIS hybrid approach. *Geomorphology*, 132 (3): 167-175
  - Kempe S. 1984. Sinks of the anthropogenically enhanced carbon cycle in surface fresh waters. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012)*, 89 (D3): 4657-4676
  - Koroleff F. 1970. Determination of total phosphorus in natural waters by means of persulfate oxidation. *International Council for the Exploration of the Sea, Interlab*, Rep 3: 19-22
  - Marchese MR, Saigo M, Zilli FL, Capello S, Devercelli M, Montalto L, Paporello G & Wantzen KM. 2014. Food webs of the Paraná River floodplain: Assessing basal sources using stable carbon and nitrogen isotopes. *Ecology and Management of Inland Waters*, 46: 22-30
  - Meybeck M. 1982. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. *American Journal of Science*, 282 (4): 401-450
  - Meybeck M. 1993. C, N, P and S in rivers. P 163-193 En: Wollast R, Mackenzie FT & Chou L (eds), *Global inputs Interactions of C, N, P and S Biogeochemical cycles and global change*. Springer-Verlag, Berlin
  - Molina DA. 2015. *Tendencias en los parámetros fisicoquímicos en la Cuenca Baja del Río Uruguay en el periodo 1987-2005, como una herramienta para la gestión de una cuenca transfronteriza*. Tesis de Maestría en Gestión del Agua de la Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: 109 p
  - Nicholas AP, Sandbach SD, Ashworth PJ, Amsler ML, Best JL, Hardy RJ, Lane SN, Orfeo O, Parsons DR, Reesink AJH, Sambrook Smith GH & Szupiany RN. 2012. Modelling hydrodynamics in the Rio Paraná, Argentina: An evaluation and inter-comparison of reduced-

complexity and physics based models applied to a large sand-bed river. *Geomorphology*, 169: 192-211

- Panarello HO & Dapeña C. 2009. Large scale meteorological phenomena, ENSO and ITCZ, define the Paraná River isotope composition. *Journal of hydrology*, 365 (1): 105-112.
- Pasquini AI & Depetris PJ. 2010. ENSO-triggered exceptional flooding in the Paraná River: Where is the excess water coming from? *Journal of hydrology*, 383 (3): 186-193
- Pasquini AI & Depetris PJ. 2012. Hydrochemical considerations and heavy metal variability in the middle Paraná River. *Environmental Earth Sciences*, 65 (2): 525-534
- Pedrozo F & Bonetto C. 1989. Influence of regulation river on nitrogen and phosphorus mass transportation in a large South American river. *Research and Management*, 4: 59-70
- Piper AM. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(6): 914-928
- Pisciotano G, Díaz A, Cazess G & Mechoso CR. 1994. El Niño-Southern Oscillation impact on rainfall in Uruguay. *Journal of Climate*, 7 (8): 1286-1302
- Raia A & Cavalcanti IFA. 2008. The life cycle of the South American monsoon system. *Journal of Climate*, 21 (23): 6227-6246
- Redfield AC. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American scientist*, 46 (3): 205-221
- Robertson AW & Mechoso CR. 1998. Interannual and decadal cycles in river flows of southeastern South America. *Journal of Climate*, 11 (10): 2570-2581
- Stevaux JC, Martins DP & Meurer M. 2009. Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology*, 113 (3): 230-238
- SSRH & INA (Subsecretaría de Recursos Hídricos, Instituto Nacional del Agua). 2002. Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina. SSRH, Buenos Aires, Argentina: CD-Rom
- Villar CA, Decabo L, Vaithyanathan P & Bonetto CA. 1998. River-floodplain interactions: concentrations in the Lower Paraná River. *Archiv für Hydrobiologie*, 142 (4): 433-450
- Villar C, de Cabo L, Vaithyanathan P & Bonetto C. 1999a. Pore water N and P concentration in a floodplain marsh of the Lower Paraná River. *Hydrobiologia*, 392 (1): 65-71



- Villar C, Stripeikis J, Tudino M, Troccoli O & Bonetto C. 1999b. Trace metal concentrations in coastal marshes of the Lower Parana River and the Rio de la Plata Estuary. *Hydrobiologia*, 397: 187-195
- Villar CA & Bonetto C. 2000. Chemistry and nutrient concentrations of the Lower Parana River and its floodplain marshes during extreme flooding. *Archiv für Hydrobiologie*, 148 (3): 461-479