

## Dinámica del fósforo en agua y sedimentos de un embalse subtropical (Salta, Argentina)

### [ Dynamics of phosphorus in water and sediments of a subtropical reservoir (Salta, Argentina) ]

María Laura Lamas<sup>1</sup> y María Mónica Salusso<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Natural Sciences,  
National University of Salta,  
Avda. Bolivia 5150, (4400), Salta, Argentina

<sup>2</sup>Investigation Rede,  
National University of Salta,  
Avda. Bolivia 5150, (4400), Salta, Argentina

---

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** General Belgrano reservoir, in a subtropical region of the province of Salta, is one of the most important in Argentina because of its size and purposes. Previous studies indicate a high speed of increasing its trophic state, adversely affecting the quality of the resource. This paper characterizes the structure (grain size, organic matter content) and amount of phosphorus fractions in sediments, to establish its dynamics during the transition from stratification until mix period. Physical-chemical major variables (temperature, pH, redox potential, conductivity) and phosphorus content (total, reactive soluble and organic) were analyzed according to standardized techniques, at three Secchi depths, interfase and sediment, from March to July, 2011. Water quality in all sites showed high uniformity: it was slightly basic with high conductivity and low concentration of bioavailable phosphorus indicating the extreme mobility of the nutrient in the food chain. The sediments, whose characteristics differed significantly from the overhead compartments, were neutral, with highest conductivity and redox potential values indicating anoxia throughout the study. The tributaries zones have clayey composition, while the lentic area is sandy, which is related to the raised content of phosphorus adsorbed in the first ones. The great amount of phosphorus in sediments demonstrated its relevance as a source of internal eutrophication of the reservoir.

**KEYWORDS:** grain size, physicochemical characteristics, nutrient recycling, phosphate, hydrologic cycle.

**RESUMEN:** El embalse general Belgrano, en la región subtropical de la provincia de Salta, es por sus dimensiones y finalidades, uno de los de mayor relevancia en Argentina. Estudios previos indican que incrementa su estado trófico a altas velocidades, perjudicando la calidad del recurso. El presente trabajo caracteriza la estructura (granulometría, tenor de materia orgánica) y contenido de las fracciones de fósforo en los sedimentos, para establecer su dinámica durante la transición de estratificación hasta el momento de mezcla. Se analizaron las principales variables físico-químicas (temperatura, pH, potencial redox, conductividad) y el contenido de fósforo (total, reactivo soluble y orgánico) a tres profundidades del disco de Secchi, interfase y sedimentos, según técnicas estandarizadas, en tres áreas representativas del embalse, de marzo a julio del 2011. La calidad del agua, en todos los sitios, mostró elevada uniformidad: levemente básica, con alta conductividad y baja concentración de fósforo biodisponible revelando la movilidad extrema del nutriente en la cadena trófica. Los sedimentos, cuyas características se diferenciaron significativamente de los compartimentos superiores, resultaron neutros, con los mayores valores de conductividad y de potencial redox que indican anoxia durante todo el estudio. La granulometría de los

ingresos es netamente arcillosa, mientras que en la zona lenítica es arenosa, lo que se relaciona con el mayor contenido de fósforo adsorbido en los primeros. El elevado tenor de fósforo en los sedimentos demuestra su relevancia como fuente de eutrofización interna del embalse.

**PALABRAS CLAVE:** Granulometría, Características Físico-Químicas, Reciclado de Nutrientes, Fosfato, Ciclo Hidrológico.

## **1 INTRODUCCIÓN**

El embalse General Belgrano ubicado en la región subtropical serrana de la provincia de Salta, por sus dimensiones es considerado uno de los de mayor relevancia de la Argentina. Si bien se opera para control de crecidas y producción de energía hidroeléctrica, sus usos alternativos no son menos significativos (riego, pesca deportiva y recreación turística). Precisamente por su extensión (115 km<sup>2</sup>) y en especial por su profundidad media (27,5 m) se considera que la velocidad con la cual incrementa su estado trófico es llamativa, debido principalmente a que recibe aguas de un valle fértil dedicado a las actividades agropecuarias, donde se ubican algunos de los asentamientos urbanos de mayor densidad de la provincia de Salta.

Son diversos los estudios limnológicos realizados en el reservorio vinculados a la variación de la calidad del agua ([1], [2],[3],[4],[5] entre otros), las comunidades del fitoplancton ([6]; Borja, 2011-en prensa-) y la estructura de las poblaciones ictícolas ([7], [8], entre otros), si bien no existen antecedentes de estudios que permitan conocer la tipología de los sedimentos y la magnitud del contenido relativo de los nutrientes existentes en ellos.

La región semiárida posee una marcada estacionalidad de precipitaciones que condiciona el máximo ingreso exógeno de nutrientes al embalse de diciembre a abril de cada año, a través de dos afluentes principales: por el Norte: el río Arias-Arenales, colector del mayor conglomerado antrópico y actividades económicas industriales y agropecuarias, y por el Sur: el río Guachipas, colector de aguas de los Valles Calchaquíes. Precisamente las cargas ingresadas tanto de sedimentos en suspensión como de fósforo son más significativas durante los picos iniciales de la fase de crecidas [9]. La liberación del fósforo entrampado en los sedimentos depende de varios factores tales como su granulometría, las condiciones del agua situada sobre ellos y las comunidades bentónicas capaces de alterar el equilibrio de intercambio, retornando el fósforo a la fase soluble, si bien la característica reguladora más evidente de esta exportación es el contenido de oxígeno del agua más próxima.

El presente trabajo pretende caracterizar los sedimentos del embalse en la zona de ambos ingresos lóticos y en la zona léntica intermedia del embalse, de marzo a julio de 2011, para establecer cómo se comportan los tres compartimentos: agua, interfase agua-sedimento y sedimentos en relación al fósforo durante la transición de estratificación hasta el momento de mezcla.

## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

El embalse General M. Belgrano, conocido localmente como Cabra Corral, ubicado a 70 km al sur de la ciudad de Salta (de 25° 08'S a 25° 27' S y de 65° 20' O a 65° 27' O), a 945 msnm, abarca 11.720 ha. El volumen de embalse es 3.130 hm<sup>3</sup>, su profundidad media, 23,84 m y la máxima de 90 m. Recibe aguas de los ríos Guachipas, Rosario y Arias-Arenales, irriga un área de 700 km<sup>2</sup> y tiene una producción eléctrica instalada de 102 MW. El influjo anual promedio al embalse es del orden de los 1246 hm<sup>3</sup> de los cuales el 80% es recibido entre los meses de diciembre y abril. La descarga media anual del embalse en el río Juramento es de 992 hm<sup>3</sup>. Las fluctuaciones de los volúmenes embalsados presentan una marcada regularidad, con niveles máximos de febrero a junio y mínimos de octubre a enero [10].

Se muestrearon tres sitios del embalse (fig.1): dos localizados luego del ingreso de los tributarios Arias-Arenales (M) y Guachipas (Z) y el tercero, en un sector léntico intermedio (L), con una frecuencia mensual de marzo a julio de 2011. Las muestras fueron extraídas en la columna de agua (A) a tres profundidades (uno, dos y tres Secchi), en la interfase agua-sedimento (I) y en los 5 a 10 cm de la fracción superficial de los sedimentos (S). Se midió con sondas específicas in situ: temperatura, conductividad (uS/cm), pH, potencial de óxido-reducción (ORP - mV). En las muestras de agua se cuantificó: fósforo reactivo soluble (P-PRS - mg/L), fósforo total (P-PT - mg/L), fósforo orgánico (Porg - mg/L), según técnicas normalizadas [11]. En sedimentos también fueron determinadas las formas de fósforo precedentes por el método de Andersen [12], la granulometría [13] y el porcentaje de materia orgánica (por calcinación a 550°C). El análisis estadístico se efectuó con el programa estadístico InfoStat [14].

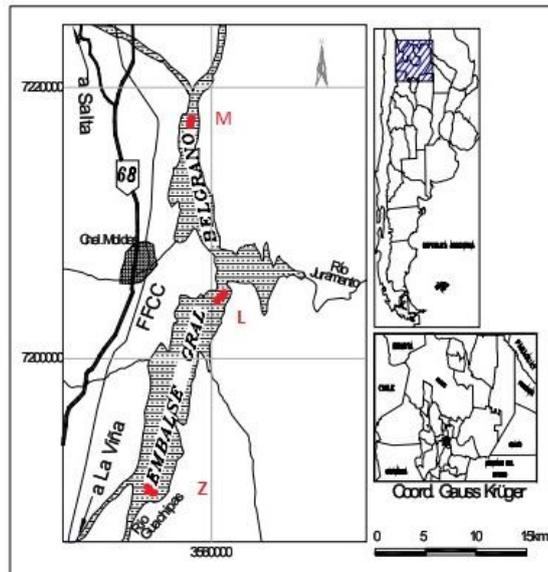


Fig. 1. Ubicación de los sitios de muestreo: ingreso del río Arias-Arenales (M), del río Guachipas (Z) y en zona léntica (L)

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En función de los perfiles térmicos (datos no mostrados) y en coincidencia con trabajos previos [1] se clasifica al embalse como monomítico caliente con elevados gradientes térmicos estivales y posterior mezcla al inicio de la temporada fría. La temperatura media del agua, en el periodo de estudio, fue 17,4 °C, con registro máximo en marzo (21,5°C) en Z y mínimo de 11,9°C en M en junio.

Existieron diferencias altamente significativas en la mayoría de los parámetros considerados en cuanto a su concentración en los sedimentos versus la interfase y el agua (tabla 1).

Table 1. Comparación de variables fisicoquímicas en los distintos compartimentos (S = sedimento, I = interfase agua-sedimentos, A = columna de agua) en los tres sitios de muestreo del Embalse Gral. Belgrano. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Variable	Compartimento	Promedio	Estadístico
pH	S	7,31 a	H= 29,38 P<0,0001
	I	8,09 b	
	A	8,22 b	
Conductividad	S	589,29 a	H= 17,78 P< 0,0014
	I	478,13 b	
	A	470,41 b	
ORP	S	-236,23 a	H = 36,21 P <0,0001
	I	286,48 b	
	A	288,46 b	
P-PT	S	49,03 a	H=36,36 P<0,0001
	I	0,49 b	
	A	0,47 b	
P-PRS	S	38,72 a	H= 35,62 P<0,0001
	I	0,32 b	
	A	0,35 b	
Porg	S	10,31 a	H=35,22 P<0,0001
	I	0,17 b	
	A	0,22 b	

El pH de los sedimentos fue inferior a los otros compartimentos considerados, variando en el rango de 7,13 a 7,55, en tanto que el máximo valor de 8,86 se obtuvo en la columna de agua. En función de esto se puede clasificar al embalse como carbonatado, tamponado por sistema bicarbonato-carbonato, a valores próximos a pH 8, en el periodo estudiado (fig. 2). Esto puede explicarse, en parte, porque el basamento del reservorio es calcáreo dolomítico y además, una de las subcuencas que desembocan en él, discurre por afloramientos de piedra caliza, en los Valles Calchaquíes. Asimismo, estos valores son indicativos de la elevada actividad fotosintética. Resultados similares de pH fueron reportados varios años antes por Salusso [9] y Borja (2011-en prensa-), quien además encontró una correlación significativa y positiva con la concentración de clorofila a. Es destacable la uniformidad en el pH a lo largo de los años, en los diferentes sitios y profundidades en la columna de agua.

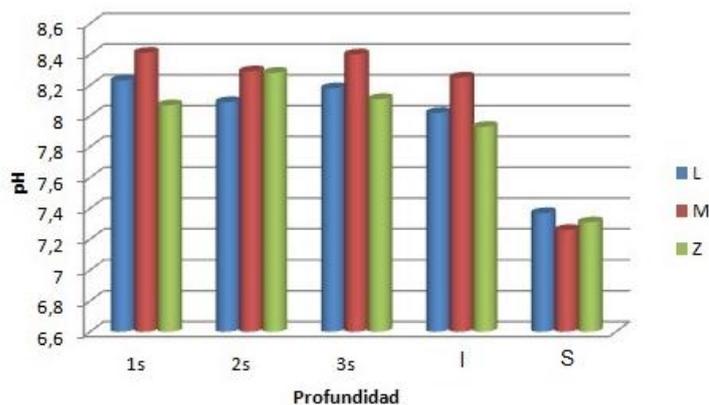


Fig. 2. Variación de pH según los sitios de estudio (media) y la profundidad (s=secchi, I=interfase, S=sedimentos)

Las muestras de sedimentos presentaron un promedio de conductividad significativamente mayor a la columna de agua y a la interfase en todos los sitios (tabla 1), debido probablemente, a la presencia de complejos de sales de calcio y magnesio provenientes de la descomposición de los materiales de la cuenca del embalse conformados por rocas sedimentarias calcáreas, principalmente calizas y margas. Si excluimos del análisis a los sedimentos, (fig.3) los registros significativamente más altos se observaron en el sitio Z ( $H=28,40$ ,  $p<0,001$ ). Esto se corresponde con las características de las aguas del río Guachipas, que presenta altas cantidades de sulfatos y fluoruros, ya que es colector final de sedimentos inorgánicos de la región árida, cuyo sustrato es fácilmente erosionable y está constituido principalmente por sedimentitas de la edad terciaria [15].

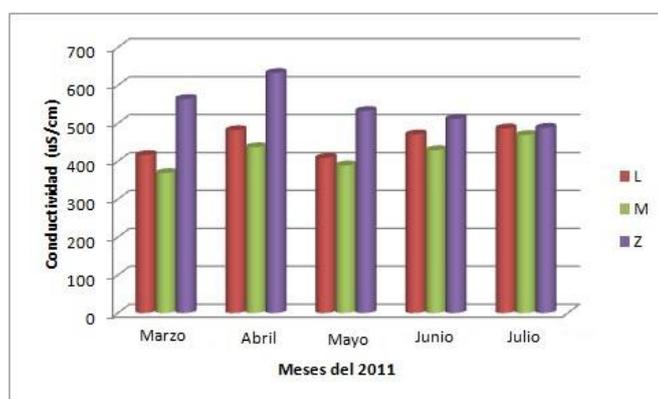


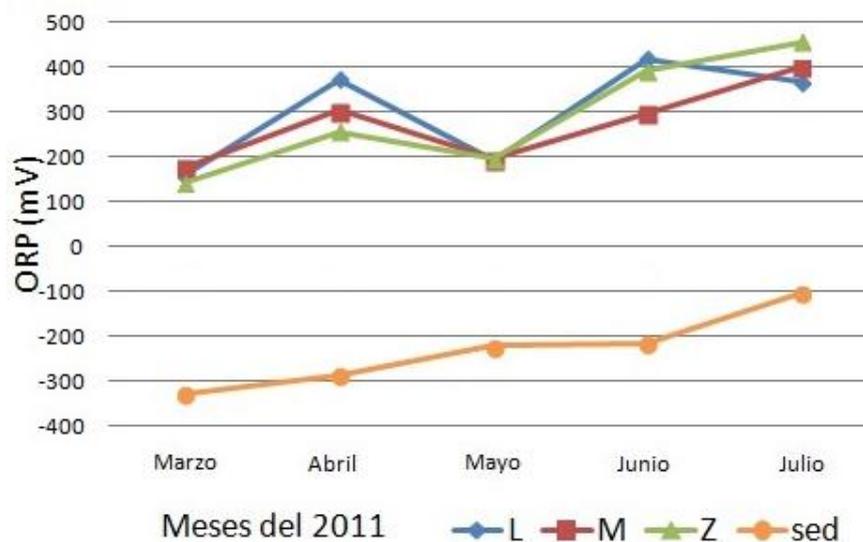
Fig. 3. Comparación de la conductividad del agua (medias) en los distintos sitios.

El potencial de óxido-reducción fue negativo en los sedimentos en todo el muestreo (tabla 1), lo que prueba las condiciones anóxicas imperantes en los tres sitios del embalse, independientemente de las diferencias existentes en la profundidad relativa. Su rango de variación tuvo un mínimo próximo a los -380 mV en Z y L, mientras que el máximo fue cercano a los -99 mV, correspondientes a julio, en M. Esto podría deberse a las diferencias en el contenido de materia orgánica de los sedimentos de estos sitios (tabla 2) dado que los sitios con menor potencial redox mostraron el mayor contenido de materia orgánica. Sin embargo no se encontraron correlaciones estadísticas entre estas variables.

**Table 2. Porcentaje de materia orgánica (MO) en los sedimentos de los distintos sitios. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,01$ )**

Sitio	% MO (media $\pm$ D.E)
L	18,50 $\pm$ 5,42 b
M	4,59 $\pm$ 0,52 a
Z	9,01 $\pm$ 3,12 ab

Al analizar la variación temporal del potencial redox se observa la misma tendencia en todos los compartimentos, alcanzando hacia julio los valores más altos (fig. 4), en concordancia con la mezcla que incorpora oxígeno y eleva el ORP a valores próximos a los de las aguas naturales, que en condiciones estándar son cercanos a los +500mV, mientras que la oxigenación en los sedimentos se traduce en potenciales que se acercan a 0 mV [16].



**Fig. 4. Variación intermensual de valores del ORP (en mV) en sedimentos y en la interfase en los tres sitios del embalse Gral. Belgrano.**

La capacidad de retención de fósforo en los sedimentos durante el período de análisis, quedó evidenciada en los valores medios obtenidos para todas las fracciones consideradas (fósforo total, soluble y orgánico), que superó hasta en dos órdenes de magnitud al contenido de los restantes compartimentos (tabla 1). Relaciones similares de varios órdenes de magnitud entre el fósforo total de sedimentos y del agua, fueron reportadas para otras cuencas ([17], [18], [19], [20], [21]) evidenciando la capacidad de los sedimentos de actuar como sumideros de nutrientes. Si bien hubo variaciones entre muestreos en cada sitio (fig. 5), la tendencia general fue un pico de máxima en mayo, cuando se completa el llenado del embalse por ingresos alóctonos, seguido de una declinación importante de los tenores de fósforo en los dos últimos meses muestreados. Cabe destacar que los tres compartimentos analizados (sedimentos, interfase y columna de agua) muestran las mismas fluctuaciones a pesar de diferir en la cantidad absoluta del nutriente. Esto es indicativo de altas velocidades de intercambio entre los sedimentos y el agua, con elevados coeficientes de difusión, como los encontrados por Mozeto et al. ([22], [23]) en sus estudios de embalses tropicales, para los flujos de especies solubles.

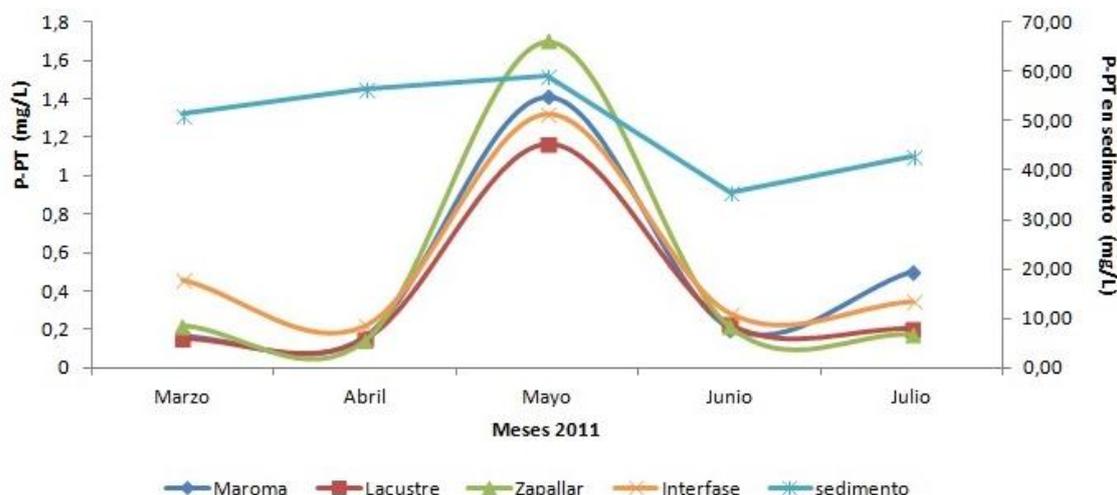


Fig. 5. Variación intermensual de valores del fósforo total (en mg/L) en sedimentos, en la interfase y columna de agua en los tres sitios del embalse Gral. Belgrano.

El pico de PT coincide con la disminución del potencial redox en la columna de agua. La bibliografía indica que ante el descenso del ORP, los complejos e hidróxidos de hierro y manganeso se reducen, se tornan solubles y el fosfato adsorbido a éstos es movilizado. Esto explicaría la disminución encontrada en el PT de los sedimentos posteriores a mayo, aunque los registros de ORP siguen indicando anoxia.

La mayor proporción de PT está conformado principalmente (más del 50%) por el PRS, en todos compartimentos y sitios estudiados (fig. 6 a y b), sin mostrar diferencias estadísticas según las distintas profundidades de la columna de agua, lo que justificaría la rápida declinación de los valores observados, dado que es la forma de fósforo consumida por las algas y macrófitas.

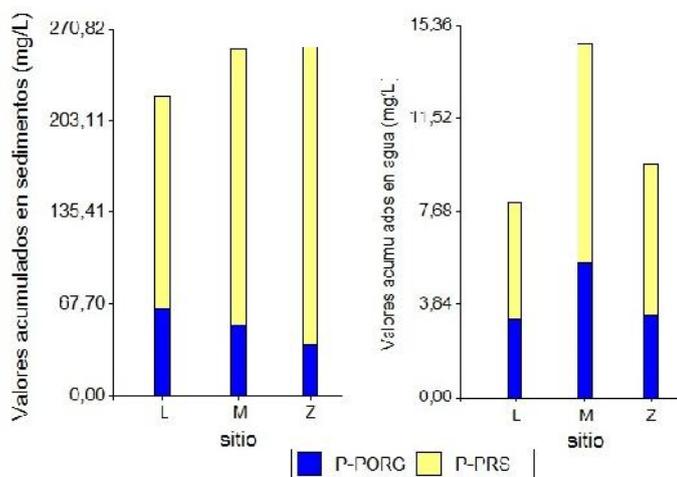


Fig. 6. Composición del fósforo total en sedimentos (a) y agua (b) en los tres sitios del embalse Gral. Belgrano.

Las diferencias en las proporciones de fósforo soluble y de fósforo orgánico en los sedimentos (fig. 6 a) fueron variables según los sitios sin llegar a ser estadísticamente significativas. En la región léntica (L) se registró la mayor proporción de Porg coincidiendo con el mayor porcentaje de materia orgánica encontrada en este sitio. Por el contrario, el contenido de estos nutrientes en la columna de agua (fig. 6b), mostraron sorprendentemente una alta uniformidad en su proporción (Porg/P-PRS=0,4 en L, 0,38 en M y 0,35 en Z) a pesar de la distancia longitudinal (aproximadamente 15 km) que separa los sitios entre sí.

El ingreso del Arias-Arenales (M) incorpora mayores tenores del nutriente en solución, que los restantes sitios, lo que puede estar vinculado con el hecho que estos ríos discurren en su porción inferior por suelos del tipo alfisoles [24], que presentan un horizonte subsuperficial con enriquecimiento secundario de arcillas. Es ampliamente conocido que el fósforo

puede ser adsorbido como anión en arcillas, coloides y materia particulada, tales como carbonatos e hidróxidos [25]. En el mismo sentido, los datos de granulometría (fig. 7) mostraron que los sedimentos en M poseen significativamente ( $H=0,14$  y  $P<0,05$ ) mayor contenido de arcillas en relación a los valores que presenta el ingreso del Guachipas (Z) y en la zona lenítica intermedia (L), donde se encontró el mayor contenido de arenas ( $H=0,83$  y  $P<0,01$ ).

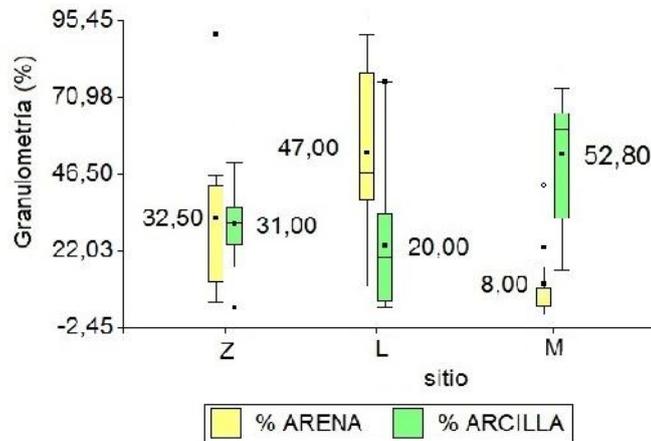


Fig. 7. Composición granulométrica del sedimento en los tres sitios del embalse Gral. Belgrano.

El análisis de componentes principales considerando los registros de 7 de las variables estudiadas agrupadas por sitio y fechas, permitió reducir la información contenida en los dos primeros componentes que explican el 85% de la totalidad de la varianza. (fig. 8).

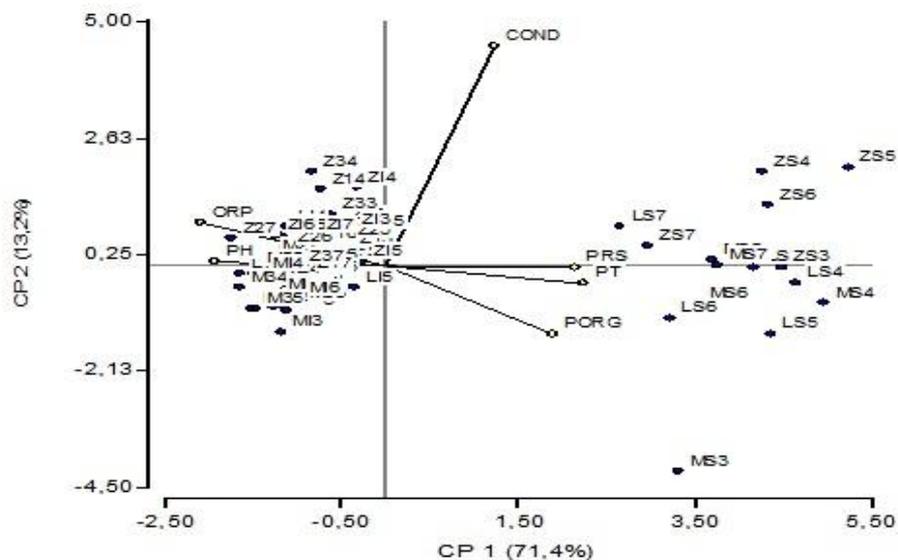


Fig. 8. PCA de los sitios en todas las fechas y variables características del agua, interfase y sedimentos. Código: primer carácter: sitio (L, M o Z), segundo carácter: profundidad (1=1secchi; 2=2s; 3=3s; S=sedimento; I=interfase), tercer carácter: mes de colecta. Ej: LS5=muestra del sedimento de la zona lenítica tomada en mayo.

El primer componente, explicó el 71 % de la variación total de los datos (tabla 3) y está definido por su relación inversa con el ORP y pH, y directa con el fósforo total, PRS y orgánico, consideradas éstas como las variables más importantes. Los sitios ubicados hacia la parte positiva del primer componente corresponden principalmente a las muestras de sedimentos. Así este análisis corrobora el mayor contenido de PT, menor pH y ORP registrado en los sedimentos de todos los sitios en todo el periodo de estudio. La parte positiva del eje permite destacar a los sedimentos de los ingresos (M y Z) que en abril y marzo presentaron los menores valores de pH (7,3) y elevado contenido de fósforo total (62,4 mg/L), lo que podría vincularse

con los mayores aportes alóctonos y el gran volumen de ingreso en esos meses. El segundo componente explicó el 13% de la variación total y estuvo definido por su relación directa con los valores de conductividad y ORP, e inversa con los tenores de Porg. En la parte positiva del eje se destacan las muestras correspondientes a Z, que principalmente en el mes de abril presentó registros altos de conductividad en los estratos inferiores de la columna de agua (3 secchi, Interfase) cercanos a 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Table 3. Discriminación de las variables analizadas según su peso en cada componente principal.**

Variables	CP 1	CP 2
pH	-0,40	-0,02
conductividad	0,26	0,94
P-PT	0,47	-0,07
P-PRS	0,45	-0,01
Porg	0,40	-0,29
ORP	-0,44	0,18

#### 4 CONCLUSIÓN

- Los diferentes sitios del embalse, a pesar de la distancia que los separa, mostraron homogeneidad en los parámetros físico-químicos de la columna de agua: levemente básica, con alta conductividad y baja concentración de fósforo biodisponible indicando su movilidad extrema en la cadena trófica.
- Los sedimentos se diferenciaron de los compartimentos superiores: con pH próximos al neutro, valores de potencial redox que indican anoxia en todo el periodo de estudio y altas concentraciones de fósforo total que los convierte en sumideros del nutriente. A pesar de la gran extensión del embalse, el sedimento presentó uniformidad en la mayoría de las variables analizadas, excepto en la granulometría y conductividad, que permiten diferenciar claramente los sitios de ingresos de los influentes con respecto al sitio léntico.
- La movilización endógena del fósforo soluble, tuvo una vinculación estrecha con las condiciones electroquímicas que se generan en la interfase agua – sedimento luego de comenzado el periodo de mezcla, disminuyendo acentuadamente a medida que avanza la fase de mixis, probablemente por acción de la biota.
- A pesar de su granulometría netamente arcillosa, el tenor de fósforo en sedimentos provenientes del ingreso del río Arias-Arenales no se diferenció del resto, no obstante atravesar una subcuenca de mayor actividad antrópica. Sin embargo, el nutriente contenido en solución en la columna de agua fue significativamente superior.
- El contenido de fósforo en los diferentes compartimentos analizados guardó una alta proporción entre sí, a lo largo del período considerado
- El elevado tenor de fósforo de los sedimentos demuestra su relevancia como fuente de eutrofización interna del embalse

#### REFERENCIAS

- [1] M. de Viana and R. Quirós, "Limnología física del embalse Gral. Belgrano, Argentina", Comunicaciones del Museo de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Salta, no. 5, pp.1-10, 1988.
- [2] I. Lomniczi, H. Musso and G. Morales, "Boron content of the General Belgrano reservoir in Cabra Corral (Province of Salta, Argentina)", An. Asoc. Quim. Arg., no. 87 (3/4), pp. 181-188, 1999.
- [3] G. A. Panzeri and M. M. Salusso, "Estimación de nutrientes y materia orgánica proveniente de fuentes difusas y puntuales en la Alta Cuenca del Río Juramento (Salta)", Cuadernos del CURIHAM no. 6(1), pp. 48 – 60, 2000.
- [4] M. M. Salusso, "Incidencia de una industria de curtiduría en la calidad del agua en la Subcuenca del Río Rosario (Alta Cuenca del Juramento, Salta)", Anales Asoc. Química Argentina, no. 88(5-6), pp. 65-72, 2000.
- [5] M. M. Salusso, L. B. Moraña and C. Aráoz, "Producción de sedimentos y nutrientes en una cuenca subtropical semiárida del noroeste argentino", AIDIS Argentina Ingeniería Sanitaria y Ambiental, no. 77, pp. 70-75, 2004.
- [6] M. M. Salusso, and L.B. Moraña, "Características físicas, químicas y fitoplancton de ríos y embalses de la Alta Cuenca del Río Juramento (Salta, Argentina)", Natura Neotropicalis, no. 31(1-2), pp.29-44, 2000.
- [7] S. E. Barros, G.M. Gonzo, y M.E. Mosqueira, "Alimentación en peces de un curso de agua eumesotrófico en el Noroeste de Argentina", Revista de Biología de Concepción, no. 72, pp.1-9, 2001.

- [8] S. E. Barros y J. Iwaszkiw, "Fecundidad del Pejerrey *Odontesthes bonariensis* (Cuvier y Valenciennes, 1835) (Pisces, pp. Atherinidae) en el embalse Gral. Belgrano, Provincia de Salta, Argentina", *Revista científica de la Sociedad Española de Acuicultura*, no. 24, pp.42-49, 2006.
- [9] M.M Salusso, *Caracterización limnológica de una cuenca subtropical árida del Noroeste argentino*, Ed. Académica Española, 2010.
- [10] Sciortino, J. B. and F. Cazón Narváez, *Estudio del volumen de agua que ingresa al embalse Cabra Corral. Evaluación de la situación actual*, Ed. Universidad Nacional de Salta (Facultad de Ingeniería), 2003.
- [11] APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21 st. Ed., Washington, D.C., 2005.
- [12] Andersen, "An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments", *Wat. Res.*, vol 10, pp 329-331, 1979.
- [13] G. J. Bouyoucus, "Hydrometer method for making particle size analysis of soils", *Agron. Jour.*, no.54, pp.464-465, 1962.
- [14] Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W., *InfoStat*, 2013. [Online] Available: <http://www.infostat.com.ar> (August 12, 2013)
- [15] Baudino, G.A., *Hidrogeología del Valle de Lerma* (Provincia de Salta, Argentina), 1996. [Online] Available: <http://www.unsa.edu.ar/biblio/tesis/scaneadas/geo/gbaudino.pdf> (January 2, 2013)
- [16] Margalef, R., *Limnología*, Ed. Omega Barcelona, 1983.
- [17] J. Armengol, J. Riera and J. A. Morguá, "Major ionic composition in the Spanish reservoirs", *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, vol 24, pp 1363 – 1366, 1991.
- [18] G. K. Nurnberg, "Prediction of annual and seasonal phosphorus concentrations in stratified and polymictic lakes", *Limnol. Oceanogr.*, no. 43, pp.1544–1552, 1998.
- [19] J. J. Ramírez and J.F. Noreña, "Comportamiento de las tasas de sedimentación del material sestónico en dos periodos climáticos contrastantes en un lago urbano raso: laguna del parque Norte, Medellín (Colombia)", *Caldasia*, no. 26(1), pp. 173-184, 2004.
- [20] Bustamante, M A, M. I. Rodríguez, M. Granero, S. Morillo, A. L. Ruibal and Zito Freyer 2004 *Limnological study and ecological modelling of San Roque Reservoir*, Argentina, 2004. [Online] Available: <http://www.ina.gov.ar/pdf/Cirsa-Limnologia-8%20SanRoque.pdf> (April 22, 2014)
- [21] P. López, R. Marcé, J. Ordóñez, I. Urrutia and J. Armengol, "Sedimentary phosphorus in a cascade of five reservoirs (Lozoya River, Central Spain)", *Lake Reserv. Manage.*, no. 25, pp. 39–48, 2009.
- [22] A. A. Mozeto, P. F. Silvério and A. Soares, "Estimates of benthic fluxes of nutrients across sediment and water interface (Guarapiranga Reservoir, São Paulo, Brazil)", *Science of the Total Environment*, no. 266, pp. 135-142, 2001.
- [23] A. A. Mozeto, M. Montini, S. A. Braz, F. G. Martins, A. Soares, M. R. L. do Nascimento, F. A. R. Barbosa, P. S. Fadini and B. M. de Faria, "External versus Internal Loads of Nutrients of an Urban Eutrophic Tropical Reservoir (Southeastern Brazil)", *Journal of Environmental Science and Engineering*, no. 1, pp 598-610, 2012.
- [24] INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), *Atlas de Suelos de la República Argentina*. 2010. [Online] Available: [http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/LatinAmerica\\_Atlas/Meeting2010/08Sep/23\\_Argentina\(2\).pdf](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/maps/LatinAmerica_Atlas/Meeting2010/08Sep/23_Argentina(2).pdf) (April 2, 2014)
- [25] Hutchinson E G, *A Treatise on Limnology*. John Wiley and Sons Inc. Canadá, 1957.