

XX Congreso Nacional del Agua y III simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur. 9 al 14 de Mayo 2005. Mendoza.

IMPORTANCIA DE LOS SEDIMENTOS COMO FUENTE INTERNA DEL FÓSFORO EN EL EMBALSE SAN ROQUE (CÓRDOBA): DETERMINACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA SU ESTUDIO

**Marcia Ruiz, Micaela Granero, María Inés Rodríguez,
María Alejandra Bustamante & Ana Laura Ruibal Conti**
Centro de la Región Semiárida (CIRSA) - Instituto Nacional del Agua (INA)
Ambrosio Olmos 1142- X5000JGT- Córdoba - Argentina-Te: 0351-4683015
E-mail: marciarui74@yahoo.com

RESUMEN

El fósforo posee un papel importante en el metabolismo biológico y en los cuerpos lacustres, generalmente actúa como limitante de la productividad biológica. Su ingreso en los lagos ha aumentado notablemente en los últimos tiempos como consecuencia del vuelco de vertidos industriales y domésticos sin tratar (detergentes y líquidos cloacales), del uso creciente de plaguicidas y fertilizantes agrícolas, aumento de escorrentías en cuencas desforestadas, resultando en gran parte retenido en la matriz del sedimento.

El intercambio de fósforo entre los sedimentos lacustres y el agua es un factor determinante en la situación trófica de lagos y embalses. Su importancia se basa en un aparente movimiento neto del fósforo hacia el agua, debido a que los sedimentos actúan como un depósito del mismo, y en condiciones particulares de anoxia y cambio de potencial redox son liberados, contribuyendo así a una importante fuente interna.

La determinación analítica del fósforo no es sencilla debido a que el sedimento es una matriz compleja, con muchas interferencias. Es importante contar con una técnica analítica de fácil aplicación, y que permita obtener resultados en forma precisa y exacta.

En el presente trabajo se compararon estadísticamente cuatro técnicas analíticas, NAQUADAT (1979), Andersen (1979), Saunders & Williams (1958) y Legg & Black (1955), con el objetivo de definir una metodología de análisis de sedimento adecuada a los fines de estudios limnológicos. Se observó una gran variabilidad en los resultados de Fósforo total (PT) y Fósforo inorgánico (PI) obtenidos para las distintas técnicas. El análisis de ANAVA permitió definir a NAQUADAT como la técnica más confiable para los distintos tipos de matrices analizadas.

La determinación de una técnica analítica apropiada y de buena precisión es esencial para obtener resultados confiables que permitan una buena interpretación de la dinámica de los procesos naturales.

Los resultados obtenidos remarcan la importancia de continuar con el estudio de los sedimentos y la implementación de metodologías de análisis apropiadas, para aportar información relevante que permita una gestión integrada del sistema lago-cuenca.

Palabras clave: eutrofia, sedimento lacustre, fósforo, técnicas analíticas.

INTRODUCCIÓN

El contenido de oxígeno en el hipolimnio de los lagos muy eutróficos muchas veces se agota al cabo de escasas semanas comenzada la estratificación térmica estival y el hipolimnio permanece anaeróbico el resto del período.

La pérdida de oxígeno en el hipolimnio se produce como consecuencia del consumo realizado durante la oxidación de la materia orgánica en el agua, y sobre todo en la interfase agua-sedimentos, en la cual la descomposición bacteriana es mucho más intensa. Este descenso paulatino de oxígeno disuelto (OD) genera una serie de situaciones que modifican la calidad del agua, afectando principalmente las primeras capas del sedimento y la interfase agua-sedimento.

Aunque la respiración biológica puede consumir cantidades enormes de oxígeno disuelto, el mayor consumo en el lago se debe a la respiración bacteriana, que descompone la materia orgánica que se sedimenta.

El interés ecológico del fósforo proviene de su importante papel en el metabolismo biológico y de su relativa escasez en la hidrosfera. Es el elemento más escaso y generalmente actúa como limitante de la productividad biológica.

En las zonas productivas de los lagos se producen pequeñas pérdidas de la fracción coloidal y parte se hidroliza a **ortofosfato**, el cual es asimilado rápidamente por los organismos.

El ingreso del fósforo en los lagos ha aumentado de una manera notable en los últimos tiempos como consecuencia de su uso en abonos agrícolas, en detergentes y en productos de uso doméstico.

La cantidad de fósforo contenido en los sedimentos puede ser de varios órdenes de magnitud superior a la del agua, por lo que es importante estudiar la concentración de fósforo que poseen los sedimentos, ya que éstos contribuyen como importante fuente interna para la eutrofización de los embalses y en este caso particularmente para el Embalse San Roque.

Cabe destacar que la utilidad de los análisis de suelo han sido cuestionados muchas veces debido a las considerables variaciones y faltas de coherencia que se han registrado con muestras iguales que se han enviado a laboratorios diferentes. Entre otros (Melgar, 1998) ha señalado la importancia de análisis realizados por el Instituto de Suelo procesadas por un grupo de varios laboratorios. Las conclusiones indican que precisamente el fósforo es la determinación que más variación registra entre laboratorios, aún en técnicas estandarizadas. No sólo existe una variabilidad en la metodología empleada sino también en la técnica de muestreo utilizada

AREA DE ESTUDIO

El Embalse San Roque (31° 22' S y 64° 27' O) se localiza en el Valle de Punilla a 600 m sobre el nivel del mar, entre las Sierras Grandes y las Sierras Chicas en la Provincia de Córdoba. Es un cuerpo de agua artificial y fue erigido en 1888. A raíz de temores vinculados con la estabilidad de este primer muro, en 1944 se reemplazó por la presa actual de Hormigón y de tipo Gravedad, planta curva. El viejo paredón aún persiste y en época de estiaje puede percibirse el coronamiento del antiguo cierre. A nivel de cota de vertedero, la superficie del espejo de agua es de 16 Km², con un volumen máximo de 190 Hm³ y una profundidad media de 13 m. La cuenca alta de Río Suquía está conformada por las subcuencas de los cuatro tributarios que drenan al embalse San Roque con una superficie total de 1750 km², ellas son: Río San Antonio de 505 km² (1.63 m³/s), el Río Cosquín de 820 km² (2.87 m³/s), el Arroyo Las Mojarras de 85 km² (0.29 m³/s) y el Arroyo Los Chorrillos de 160 km² (0.46 m³/s), siendo su único efluente el Río Suquía.

Desde el punto de vista climático, el régimen de precipitación en la cuenca se presenta con una gran variación espacio temporal. Las lluvias, a lo largo del año hidrológico se distribuyen en dos ciclos bien diferenciados: uno húmedo (noviembre - abril) y otro seco (mayo - octubre). También a nivel anual se observa una alternancia de años muy húmedos: (precipitaciones anuales superiores a 1000 mm) con otros secos que apenas superan los 400 mm. La cuenca está caracterizada por una precipitación media anual de 780 mm (85 % de las mismas se producen en verano) y una humedad media del 65%.

Bajo el dominio de un clima templado, la temperatura media anual es de 14°C y los vientos predominantes son del cuadrante sur y norte, pero están sujetos a las variaciones propias de la morfología del relieve.

Desde un punto de vista geológico, la cuenca está constituida por un basamento cristalino antiguo metamórfico-plutónico. Las rocas ígneas que lo componen están representadas por una intrusión granítica regional y las metamórficas por un complejo en el que la roca netamente dominante es el gneis (Barbeito, 1997).

METODOLOGÍA

Se seleccionaron cuatro estaciones dentro del embalse (Figura 1) basándose en la morfología e hidrodinámica del cuerpo de agua, Centro (C), Toma de Agua (TAC), Desembocadura de Cosquín (DCQ) y Desembocadura del San Antonio (DSA).-Estas estaciones se ubican en zonas afectadas por las corrientes internas propias del embalse. La estación Centro fue seleccionada por su representatividad del reservorio, la estación Toma de Agua se seleccionó porque allí se encuentra la toma de agua de la Empresa Provincial de Energía y que posteriormente fue utilizada por la planta potabilizadora de agua para la ciudad de Córdoba. Las muestras, se tomaron con una frecuencia variable en campañas realizadas en los años año 1999 (2), 2000 (8), 2003 (2) y 2004 (1) de agua y sedimento.

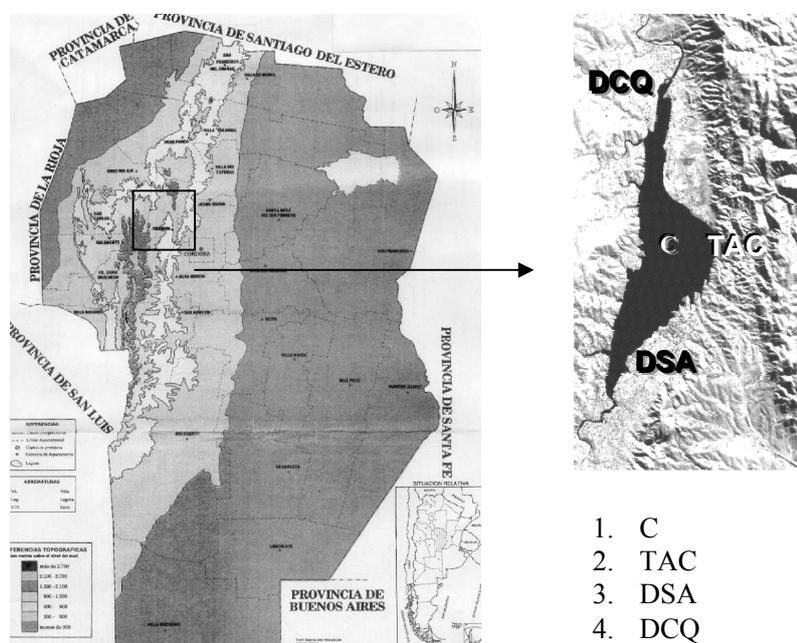


Figura N°1. Localización de Estaciones de monitoreo.

Las muestras de agua en el fondo del hipolimnio (a 1 m del fondo) se extrajeron con un muestreador tipo Van Dorn y los sedimentos se tomaron con draga tipo Eckman. A su vez se tomó una submuestra de 2 cm que fue extraída para la determinación de fósforo. En laboratorio se determinaron las siguientes variables en agua siguiendo la metodología propuesta por APHA (1992): fósforo total (PT en $\mu\text{g L}^{-1}$) obtenida de la muestra sin filtrar, por el método de digestión ácida con persulfato, y fósforo reactivo soluble (PRS en $\mu\text{g L}^{-1}$) sobre muestra filtrada por un filtro de acetato de celulosa con un diámetro de poro de $0.45 \mu\text{m}$, por el método del ácido ascórbico.

La selección del método analítico para la determinación de fósforo total e inorgánico en los sedimentos, se basó en un diseño experimental en el cual se utilizaron 4 métodos analíticos, obtenidos de distintas bibliografías. Los métodos fueron los siguientes:

1°- Método de Ignición de Andersen (1979) el cual lleva la muestra a ignición a 550°C durante 1 hora, y luego una digestión en plancha calefactora durante 15 minutos de ebullición con HCl 1N.

2°- Método de Ignición de NAQUADAT (1979) el cual lleva la muestra a ignición a 550°C durante dos horas, luego la muestra se lleva a agitación a T° ambiente con HCl 1N durante 16 ± 2 hs;

3°- Método de Legg & Black (1955), el cual se lleva la muestra a 240°C durante 1 hora y luego se lleva la muestra a baño maría con HCl concentrado durante 10 minutos y luego se retira del baño y se agrega HCl concentrado nuevamente pero a T° ambiente.

4°- Método de Ignición de Saunders & Williams (1955) donde la muestra es llevada a ignición a 550°C durante 1 a 2 hs, pero el solvente extractante es el H₂SO₄ 1N, agitando la muestra durante 16 hs a T° ambiente.

Para la determinación de Fósforo inorgánico, se realizó el mismo procedimiento, pero sin ser llevada las muestras a ignición.

Se diseñó un experimento en el cual se tomó dos muestras arcillo-limosas (C y TAC) y una arenosa de la estación llamada Río Cajón (RC), el cual pertenece a la Cuenca del Río San Antonio; debido a que las muestras arcillo-limosas poseen una alta adsorptividad para el fósforo, siendo menor para la arena. Se aplicaron los 4 métodos en la determinación de Fósforo para cada muestra.

Las diferencias estadísticas entre los métodos se analizaron mediante el test de ANAVA y a posteriori un test DGC para un nivel de significación del 0.05 (InfoStat, Di Rienzo et al., Facultad de Cs Agropecuarias, UNC).

El experimento se condujo bajo un Diseño en bloque completamente aleatorizado, donde el método fue considerado el factor a estudiar, ya que interesaba definir un método analíticamente adecuado en la determinación de fósforo total e inorgánico. Se tomaron los sitios como bloques.

RESULTADOS

Se observaron diferencias significativas entre los métodos analizados ($p < 0.01$)

De la prueba DGC, se observa en la Figura 2 que para PT los métodos Andersen (A) y Saunders & Williams (S & W) son estadísticamente similares y por otro lado NAQUADAT (NQ) y Legg & Black (L & B). Desde el punto de vista estadístico se podría aplicar tanto (NQ) como (L & B), sin embargo NQ resulta más conveniente porque tiene menor error y logra una mayor concentración de fósforo. Esto es muy importante para los análisis limnológicos ya que induce menor error en la interpretación de las variaciones de fósforo que naturalmente se podrían dar en los sedimentos. En cambio la prueba DGC para PI dio diferente, que sólo (A) es el único diferente. Un aspecto importante es que en (S & W) se obtiene una concentración de PI mayor

que la del PT, lo cual es incorrecto y se debe a la gran dispersión de la técnica. Por lo cual la elección del método se basó en aquel que poseía menor error estándar, mayor concentración y facilidad de realización.

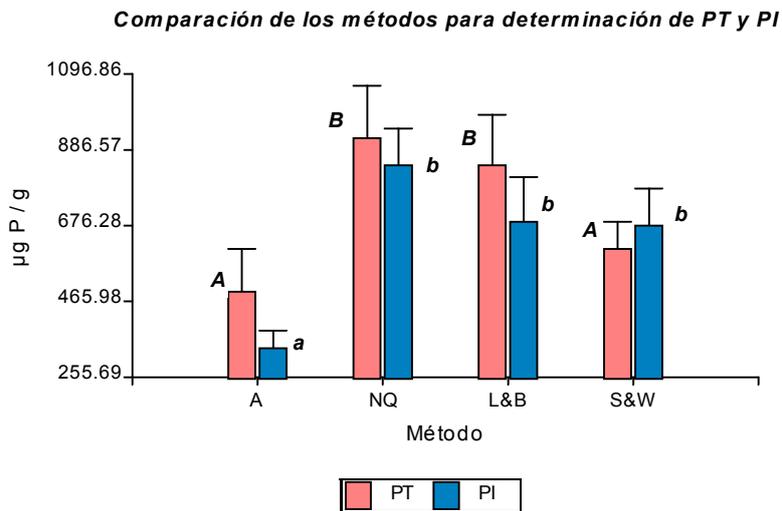


Fig N°2: Comparación mediante gráfico de barras entre métodos para la determinación de PT y PI (Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$)).

En la siguiente Figura se muestra la comparación de los errores estándares entre los distintos métodos estudiados, observándose que en todos los métodos hay superposición de errores entre las determinaciones de PT y PI, esto puede conducir a malas interpretaciones cuando ambas concentraciones son muy cercanas.

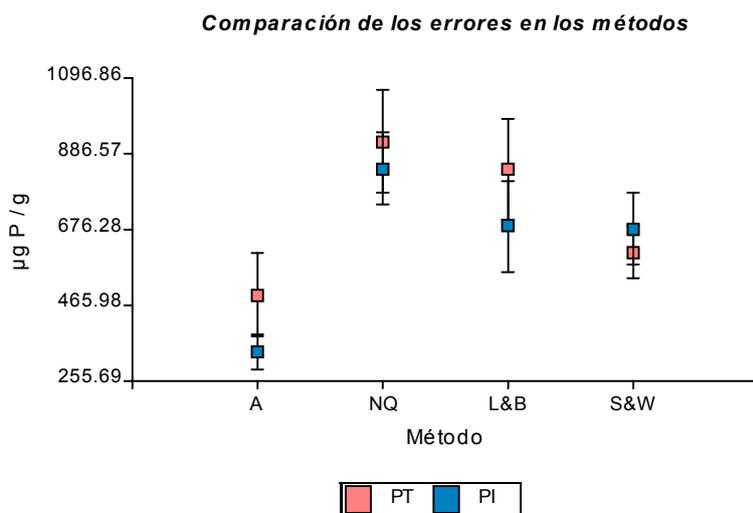


Figura N°3: Representación del error estándar en los distintos métodos.

De la Figura 3 se seleccionaron los dos métodos que presentaban mayores diferencias estadísticas y se desplegaron en los gráficos 4 y 5, graficándose el método para cada sitio. Observándose claramente que en el Método Andersen se obtiene una menor concentración y mayor error estándar y el Método NAQUADAT hay una mayor precisión y un escaso solapamiento de los errores estándar, comparando tanto las concentraciones de fósforo total como de fósforo inorgánico.

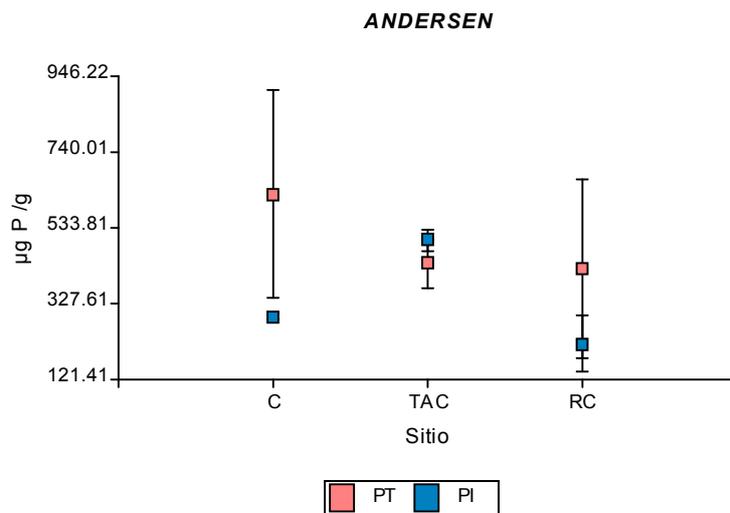


Figura N°4: Método Andersen comparando PT y PI para cada sitio, con sus respectivos errores estándar.

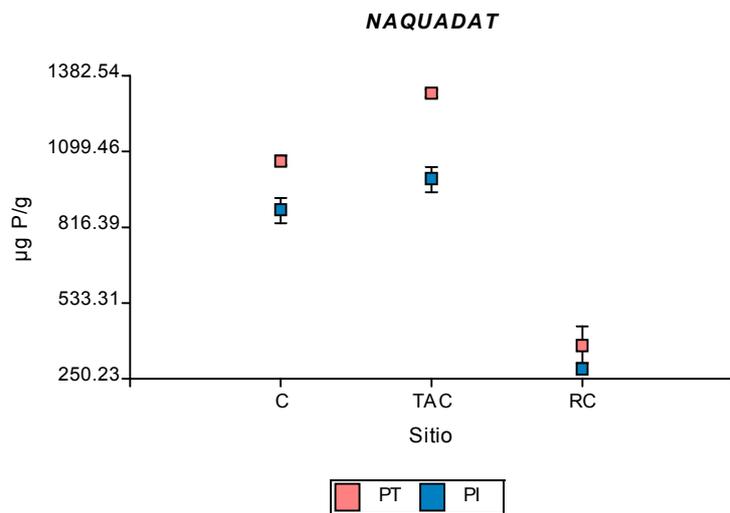


Figura N°5: Método NAQUADAT comparando PT y PI para cada sitio, con sus respectivos errores estándar.

Por lo analizado anteriormente se optó por el método (NQ) para analizar los sedimentos extraídos del lago. La Figura 6 muestra los valores medios de PT y PI hallados en los sedimentos de las cuatro estaciones, Centro, TAC, DSA y DCQ. En todas las estaciones los valores obtenidos entre el fósforo total y el fósforo inorgánico son muy similares, con valores mayores en la TAC que en los otros sitios.

La estación TAC registra un contenido de PT medio de $1069 \mu\text{g P g}^{-1}$ de sedimento seco, y PI medio de $950 \mu\text{g P g}^{-1}$ de sedimento seco, en el Centro PT de $1003 \mu\text{g P g}^{-1}$ de sedimento seco, y PI de $869 \mu\text{g P g}^{-1}$ de sedimento seco, en la DSA PT medio de $901 \mu\text{g P g}^{-1}$ de sedimento seco y PI de $701 \mu\text{g P g}^{-1}$ de sedimento seco, y en la DCQ PT de $497 \mu\text{g P g}^{-1}$ de sedimento seco y un PI de $431 \mu\text{g P g}^{-1}$ de sedimento seco.

Las concentraciones de fósforo registradas se corresponde con el tipo de sustrato que componen la capa de sedimento del lago (Fernández, 1998). Mayores valores le corresponden a los sedimentos arcillo-limosos del C y TAC y menores a los sedimentos arenosos de las desembocaduras de los ríos; DCQ y DSA.

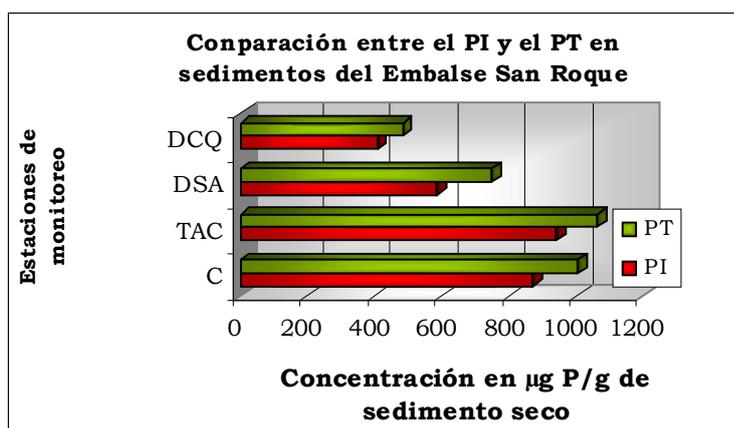


Figura N°6: Comparación entre las concentraciones de PT y PI en los distintos sitios de monitoreo. Valores medios (DCQ n= 6 y DSA n= 4, TAC n= 11 y C: n=13)

La Figura N°7 muestra las concentraciones de fósforo en hipolimnio.

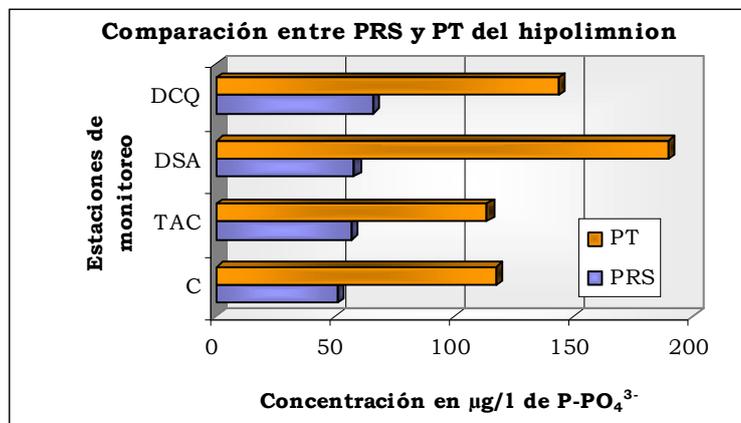


Figura N°7: Comparación entre las concentraciones de PT y PRS en el agua del hipolimnion en los distintos sitios de monitoreo. Valores medios (DCQ n=6 y DSA n= 4, TAC n= 11 y C: n=13)

Los valores medios fueron los siguientes:

En la estación de la toma de agua, PT fue de 114 $\mu\text{g P L}^{-1}$ y de PRS de 57 $\mu\text{g P L}^{-1}$; en la estación del Centro PT de 118 $\mu\text{g P L}^{-1}$ y PRS de 51 $\mu\text{g P L}^{-1}$, en la DCQ PT presentó un valor medio de 144 $\mu\text{g P L}^{-1}$ y PRS de 66 $\mu\text{g P L}^{-1}$ y en la DSA la concentración de PT fue de 190 $\mu\text{g P L}^{-1}$ y PRS de 58 $\mu\text{g P L}^{-1}$.

Las mayores concentraciones corresponden en este caso a los sitios DCQ y DSA y las menores al C y TAC, contrariamente a lo observado en los sedimentos. La fracción de PRS representa en todos los casos entre 40 y 60 % del fósforo total en coincidencia con lo estudiado por Bustamante, (2002) en los ríos de la cuenca del embalse.

Las menores concentraciones de PT medidos en el C y TAC responden a los procesos de sedimentación que se dan en el embalse y a los cuales está expuesta la materia orgánica (algas, zooplancton, etc.) como lo explica Wetzel (1982).

El PT registró importantes concentraciones en los sedimentos como lo describe Granero, (2002) en sus estudios de sedimentos del Lago San Roque. Los sedimentos en este caso y con tales niveles de concentración de fósforo, actúan como sumidero del mismo, que bajo condiciones de anoxia del hipolimnion y cambios en el potencial rédox liberan a este nutriente al agua favoreciendo el estado eutrófico del embalse.

CONCLUSIONES

En una primera etapa de trabajo se compararon 4 métodos analíticos, para obtener una técnica confiable, precisa, y sencilla para el estudio limnológico.

Particularmente cuando los valores de fósforo total e inorgánico son semejantes, la alta dispersión obtenida en las técnicas puede conducir a resultados incoherentes desde el punto de vista ambiental.

El método propuesto por NAQUADAT (1979) fue la técnica que logró una mayor extracción del fósforo y a su vez menor error estándar y mayor precisión.

En todas las técnicas se observó que la dispersión obtenida en los resultados de fósforo inorgánico es menor que en el fósforo total. Esto muestra el error adicional que introduce el proceso de ignición para la determinación del fósforo total.

La matriz arenosa procesada con todas las técnicas fue la que presentó la menor variabilidad, debido a que es una muestra menos compleja y no posee una alta capacidad adsorptiva como las muestras arcillo-limosas.

Las concentraciones de fósforo total y fósforo inorgánico fueron similares en los sedimentos, y la mayor concentración se registró en la estación de monitoreo TAC.

Los resultados de P en agua son mayores en las zonas de las desembocaduras, que los registrados en el resto de las estaciones, debido a un impacto antrópico, y a diferencias morfológicas, hidráulicas e hidrodinámicas con respecto a las estaciones TAC y C.

Las concentraciones de P medidas en agua y sedimento no muestra una gran variabilidad en el tiempo, pero es importante continuar con el estudio de los sedimentos para aportar información relevante que permita una gestión integrada del sistema lago-cuenca.

BIBLIOGRAFÍA

- Andersen, J.** (1979). An ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. *Wat. Res.* 10: 329-331.
- APHA, AWWA, WPCF** (1992). *Métodos Normalizados para el análisis de agua potable y residuales*. Ediciones Diaz de Santos, Madrid España
- Bustamante, M A, Lopez F, Bonetto C, & Granero, M** (2002). "*Limnology of mountain rivers and transport of phosphorus and nitrogen to an enriched reservoir*". *Verh. Internat. Verein. Limnol* 28: 1779-1782.
- Casanoves F., Di Rienzo J., Robledo W.** (1998). *Bases para Estadística Experimental*. Córdoba- Argentina: SCREEN Editorial.
- Fernández, R.** (1998). Evaluación de metodologías para la estimación de la erosión hídrica superficial en cuencas hídricas de la República Argentina. Tesis de grado.
- Granero, M., Bustamante, M.A.; Ruiz, M; Busso, F; Bonfanti, E.** (2002). "*Evaluación de la Carga Interna de Fósforo en el Embalse San Roque*". Villa Carlos Paz, Córdoba. Argentina.
- Legg, J.O., and C.A. Black.** (1955). *Determination of organic phosphorus in soils: II. Ignition method.*. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19: 139-143.
- Margaleff R** (1983) *Limnología*, Ediciones Omega. España.

- Melgar, Ricardo** (1998). “*Nuevas herramientas y conceptos tradicionales en el diagnóstico de fertilidad de suelos*”. XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina.
- Olsen, S.R y Sommers L.E.** (1982). *Método de análisis de suelo- Parte 2- Propiedades químicas y microbiológicas* (2° ed.). Madison, Wisconsin USA.
- Saunders, W. M. H., and E. G. Williams.** (1955). *Observations on the determination of total organic phosphorus in soil.* J. Soil Sci. 6: 254-267.
- Water Quality Assessments** (1992). *A guides to use of biota, sediments and water in environmental monitoring.* (2° ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
- Wetzel, R.** (1981) *Limnología.* Ediciones Omega, Barcelona, 679 pp.