



PALEOLIMNOLOGÍA DEL EMBALSE SAN ROQUE. RELACIÓN ENTRE LA EUTROFIZACIÓN Y LA VARIABILIDAD HIDROCLIMÁTICA

PALEOLIMNOLOGY OF THE SAN ROQUE RESERVOIR. RELATIONSHIP BETWEEN EUTROPHICATION AND HYDROCLIMATIC VARIABILITY

Mengo, Luciana¹; Lami, A²; Guerra, L¹; Masuzzi, S²; Piovano, E¹; Halac, S¹.

¹Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CICTERRA), CONICET -Universidad Nacional de Córdoba, ²Istituto per lo Studio degli Ecosistemi, CNR, Pallanza, Italy.

luci.92.22@gmail.com

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la historia trófica del Embalse San Roque, vinculada a la eutrofización y la variación hidroclimática. Para ello se analizaron indicadores físicos, químicos y biológicos (paleopigmentos) en un testigo sedimentario. Esta información fue correlacionada con datos hidroclimáticos- precipitaciones y nivel del embalse-. Los resultados indican que existen una asociación entre la productividad del sistema con períodos más húmedos. Además, se observó un incremento de la productividad en los últimos años debido al aumento de los aportes autóctonos. Sin embargo, se requieren más análisis que confirmen estas relaciones.

Palabras clave: paleopigmentos; proxies físico-químicos; condición trófica.

Introducción

La eutrofización es un proceso natural que ha sido acelerado por la actividad humana, producto del incremento de nutrientes sumado a los cambios en la temperatura y el régimen de precipitaciones. (O'Neil *et al.*, 2012). Una de las dificultades en la evaluación del estado actual de los sistemas, es la falta de conocimiento de estos durante períodos de baja actividad antrópica. La paleolimnología permite la reconstrucción de las condiciones históricas a través del estudio de los sedimentos donde existen indicadores indirectos o *proxies* que reflejan cambios físicos, químicos y biológicos de los sistemas (Tremblay *et al.*, 2001).

Entre los posibles registros sedimentarios relacionados a la condición trófica y a la productividad del sistema, los restos bioquímicos de los organismos fotosintéticos-paleopigmentos-, son a menudo el único *proxy* que representa todos los grupos algales. Además, permiten identificar cambios históricos en la abundancia y la composición de las comunidades algales, por lo que son considerados indicadores de la condición trófica presente y pasada (Lami *et al.*, 2000), de procesos de acidificación y del cambio climático. En la actualidad no existen en Sudamérica muchos estudios mayores a 60 años que aborden los cambios de la condición trófica en embalses, a pesar de su importancia como proveedores de servicios (Lewis, 2000). Nuestro estudio propone evaluar la historia trófica de un embalse, con un enfoque en la eutrofización y factores climáticos.

Materiales y métodos

Área de estudio

El Embalse San Roque (ESR) está localizado en la región semiárida del Valle de Punilla (31°22' S; 64° 28' O), a 608 m s.n.m. en la provincia de Córdoba (Argentina). La superficie del lago es de aproximadamente 15 km², con un volumen de 201 Hm³ y un promedio de profundidad de 13 m. La cuenca del ESR posee una extensión de 1750 km² y corresponde a la cuenca superior del Río Suquía (Rodríguez y Ruiz 2016) (Figura 1). El clima presenta un régimen de precipitación estacional, siendo el periodo húmedo entre Noviembre-Abril. La media anual de precipitaciones es de 780 mm (Rodríguez y Ruiz, 2016). El ESR es un embalse de usos múltiples siendo los principales el de abastecimiento de agua a la ciudad de Córdoba, el control de inundaciones, irrigación, generación de energía, y actividades recreativas.

Muestreo del testigo sedimentario y mediciones *in situ*

En Septiembre de 2017 se extrajo un testigo sedimentario de 77 cm de largo (SR17-1) del centro del ESR (31°22'35.95" S; 64°28'12.60" O).

El testigo se conservó a 4°C en oscuridad. Con el fin de determinar las distintas estructuras sedimentarias, se realizó una tomografía computada y una vez abierto, se tomaron fotografías. La susceptibilidad magnética volumétrica (SM) se determinó a través de un equipo MS2C Bartington con una resolución de 1 cm.

Datación del testigo

Las dataciones fueron realizadas mediante radioisótopos de ^{210}Pb y ^{137}Cs por espectrometría gamma (Universidad de Ginebra). Para las determinaciones radiométricas se utilizaron intervalos de 7 cm, con un incremento de detalle entre los 50 y 60 cm de profundidad. El modelo aplicado en el cálculo de edades fue el de flujo constante de ^{210}Pb en exceso y de sedimentación constante (Appleby, 2001).

Proxies físico-químicos y paleopigmentos

Se realizó un análisis granulométrico, mediante un analizador de partículas HORIBA LA950 según Vaasme (2008). El contenido de Carbono Orgánico Total (TOC) y carbonatos (CO_3) se determinó a través del método de pérdida por ignición (LOI; Bengtsson y Enell, 1986). Además, se realizaron mediciones de carbono (C), nitrógeno (N) y azufre (S) elemental a través de un analizador elemental automático (Fisons NA1500). Todas las mediciones se realizaron cada 1 cm. Además, se determinó la relación C/N para diferenciar la productividad de origen alóctona u autóctona (Meyers, 1994). En cuanto a los paleopigmentos se determinaron las clorofilas y sus derivados (DC) y los carotenos totales (CT), mediante la técnica de espectrofotometría UV visible. (Lami *et al.*, 1994), mientras que para los carotenoides y clorofilas específicas se utilizó Cromatografía Líquida de Alta Resolución en fase reversa usando un HPLC Thermo Scientific. Las mediciones se realizaron cada 1 cm a 460 y 665 nm (Lami *et al.*, 2000).

Análisis de datos

Se analizaron diferentes bases de datos de precipitaciones en el período húmedo (Vicario, 2008), y nivel del embalse (Catalini y García, 2014) para evaluar relaciones entre las condiciones ambientales y los *proxies* descriptos. Para ello, las variables hidroclimáticas y los *proxies* medidos fueron transformados a logaritmos, aplicando luego correlaciones de Pearson.

Resultados

La figura 2 muestra los distintos *proxies* físico-químicos estudiados durante los últimos 80 años. La SM y el tamaño de grano presentan picos de mayores valores en la base y seguidos por una disminución hasta la actualidad. Los porcentajes de TOC y N con respecto a CO_3 muestran tendencias opuestas: mientras el TOC y N aumentan, el CO_3 decrece desde la base hacia el techo especialmente desde A.D. 1985 (30,5 cm) y de manera más pronunciada desde A.D. 2004 (12,5 cm). Existe una disminución de la relación C/N a partir de A.D. 1977 (38,5 cm), lo que indicaría un cambio de la productividad alóctona hacia una autóctona.

Los cambios litológicos y de las *proxies* permitieron dividir al testigo en unidades A, B y C, de techo a base (Figura 2). La unidad basal (C; A.D. 1937-1977), está dividida en dos subunidades: C1 and C2. La subunidad C2 (76,5-54,5 cm) presenta una serie de bandas marrones oscuras alternadas con otras marrones claras depuestas en forma oblicua. Está caracterizada por alto valores de SM y bajo contenido de TOC. Sin embargo, presenta varios picos de TOC y N. La siguiente unidad (C1; 54,5-37,5 cm) consiste en una capa maciza marrón grisáceo y presenta menos variación en los *proxies*. La unidad B (37,5-13,5 cm; A.D. 1978-2003) consiste en láminas negras intercaladas con capas marrones. Esta unidad es caracterizada por una tendencia de incremento de TOC y N y una disminución de la SM. A su vez, la unidad más reciente (A: entre 13,5 cm y la superficie del testigo), el registro de los

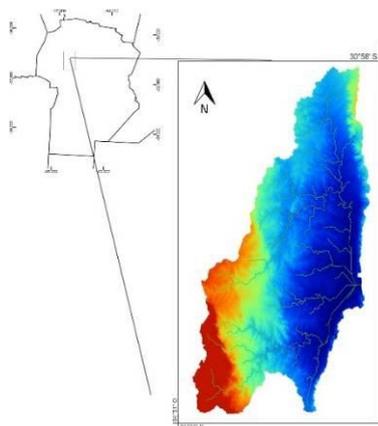


Figura 1. Cuenca del ESR y su red de drenaje.

últimos c.a 13 años, corresponde a láminas finas grises en la base y una capa maciza marrón oscura, rica en materia orgánica con una consistencia gelatinosa en el extremo superior. La unidad A es claramente distinguible de las otras unidades ya que registra de manera sincrónica los valores más bajos de SM y los más altos de TOC y N.

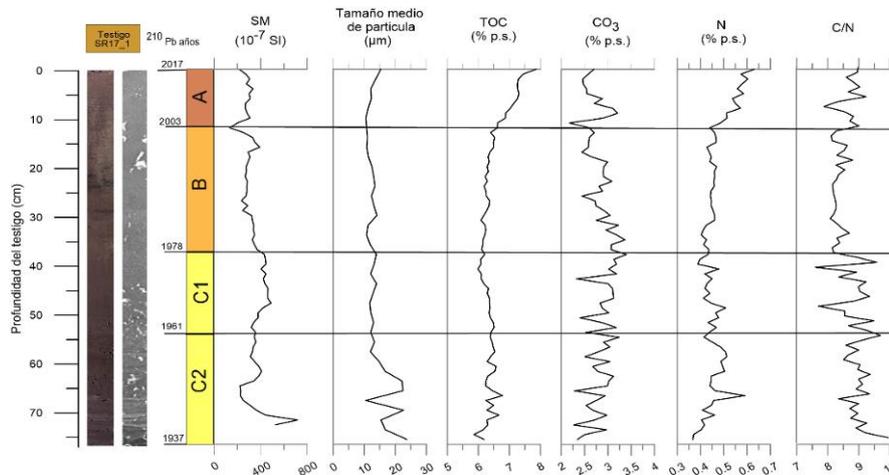


Figura 2. Gráfica de los distintos *proxies* físico-químicos en profundidad medidos en el testigo sedimentario SR17_1 del ESR. De izquierda a derecha: profundidad del testigo, fotografía del testigo, tomografía del testigo, datación realizada a partir de ^{210}Pb y ^{137}Cs , susceptibilidad magnética (SM, SI), tamaños medio de partícula (μm), carbono orgánico total (TOC, %), carbonatos (CO_3 , %), nitrógeno (N, %) sobre el peso seco (p.s.), y la relación carbono nitrógeno (C/N).

La figura 3 sintetiza la evolución del fitoplancton en el ESR durante el período 1937-2017. Aunque los paleopigmentos presentaron una gran variabilidad en todo el testigo, muchos de ellos presentan un incremento hacia los sedimentos más recientes. Las variaciones en la concentración de los paleopigmentos se corresponden de manera aproximada con las diferentes unidades identificadas en base los *proxies* físico-químicos y sedimentarios. Los DC presentan un incremento desde los sedimentos más basales a los más superficiales. El grupo de los carotenos y la clorofila a muestran una tendencia similar con grandes concentraciones de β -caroteno. Sin embargo, este pigmento registra algunos picos en las unidades C y B. Una de las asociaciones de paleopigmentos más frecuentes a lo largo del testigo es la secuencia de zeaxantina y equinona pigmentos característicos del grupo de las Cianobacterias. Asimismo, la mixoxantofila y la cantaxantina otros marcadores de las Cianobacterias, presentan una tendencia similar. Estos paleopigmentos se encontraron en altas concentraciones en la unidad C y en la superficie de la unidad A, con algunos picos en la unidad B. Sin embargo, en la parte superior del testigo (c.a. 7,5 a 8,5 cm), aparece un cambio en la comunidad fototrófica, con dominancia de pigmentos indicadores de Crisófitas y diatomeas: fucoxantina, diadinoxantina, diatoxantina de Criptófitas: aloxantina de Clorófitas: luteína y de Dinófitas: perididina en los primeros 5 cm).

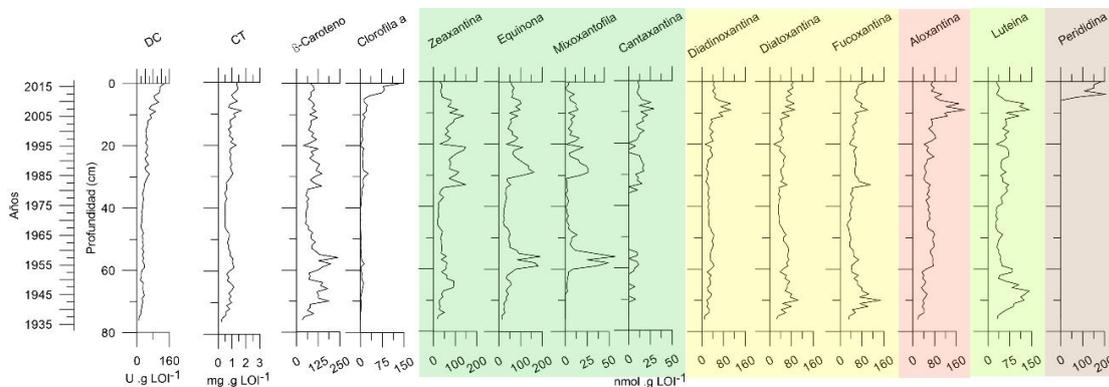


Figura 3. Gráfica donde se observan los pigmentos medidos en todo el testigo sedimentario. De izquierda a derecha: derivados de la clorofila (DC, unidades por gramos LOI), carotenos totales (CT, miligramos por gramos LOI), β -caroteno, clorofila a, zeaxantina, equinona, mixoxantofila, cantaxantina, diadinoxantina, diatoxantina, fucoxantina, aloxantina, luteína y perididina (en nanomol por gramos de LOI). Los colores agrupan a los pigmentos que pertenecen a los mismos grupos algal: verde oscuro: Cianobacterias; amarillo: Crisófitas y diatomeas; rosa: Criptófitas; verde claro: Clorófitas; violeta: Dinófitas.



Correlaciones entre *proxies* y variables ambientales

En líneas generales las variables ambientales (precipitaciones y cota del embalse) presentaron sólo correlaciones positivas significativas con los DC. En tanto que los *proxies* físico-químicos que más correlaciones presentaron con los pigmentos analizados fueron la SM, el tamaño medio de grano, el N y el TOC. Las dos primeras variables mostraron correlaciones negativas, mientras que las otras dos fueron positivas. En particular, se presentó un patrón de correlación negativa entre C/N y los DC. La fucoxantina, diatoxantina y luteína presentan algunos pulsos en los sedimentos más basales (c.a. 67.5 a 70.5 cm).

Conclusiones

Los resultados indican que la productividad del sistema se vería incrementada en períodos más húmedos, debido a la relación observada entre las variables hidroclimáticas y los DC. Sin embargo, se requieren más análisis que confirmen o no esta relación. Por otro lado, la relación inversa entre la SM y el tamaño medio de grano con las variables de TOC y N podría indicar la variabilidad entre períodos de mayor aporte de sedimentos alóctonos en contraposición a períodos de mayor productividad en el embalse. Esto se vincula a la disminución en los últimos años de la relación C/N vinculada a aportes autóctonos de la comunidad fitoplanctónica. Además, el aumento de la materia orgánica en los sedimentos se correlacionó significativamente con la mayoría de los pigmentos analizados, indicando que la materia orgánica está asociada en su mayoría, con las variaciones de la biomasa del fitoplancton del ESR. El ESR presenta un avanzado estado de eutrofización en la actualidad, hecho que se ve reflejado en el registro del testigo sedimentario. El avance de esta situación se observa muy marcada en los últimos 15 años, lo que coincide con el incremento de la urbanización de la cuenca.

Bibliografía

- Appleby, P.** 2001. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. En: Last W, Smol JP (eds) Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, vol 1. Kluwer, pp 171-203.
- Bengtsson, L. y Enell, M.** 1986. Chemical analysis. En: Berglund B.E. (ed.), Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. John Wiley & Sons Ltd. 883 p. Chichester.
- Catalini, C. G., & García, C. M.** 2014. Análisis estadístico descriptivo sobre series hidrológicas históricas del Embalse San Roque (Periodo 1947–2009).
- Lami, A., F. Niessen, P. Guilizzoni, J. Masferro y C.A. Belis.** 1994. Palaeolimnological studies of the eutrophication of volcanic Lake Albano (central Italy). *Journal of Paleolimnology* 10: 181-197.
- Lami, A., Guilizzoni, P. y Marchetto, A.** 2000. High resolution analysis of fossil pigments, carbon, nitrogen and sulphur in the sediment of eight European Alpine lakes: The MOLAR project. *Journal of Limnology* 59: 15–28.
- Lewis, W. M. Jr.** 2000. Basis for the protection and management of tropical lakes. *Lakes Reserv. Res. Manag.* 5, 35–48.
- Meyers, P. A.** 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical geology*, 114(3-4), 289-302.
- O'Neil, J. M., Davis, T. W., Burford, M. A., y Gobler, C. J.** 2012. The rise of harmful cyanobacteria blooms: the potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful algae*, 14, 313-334.
- Rodríguez, M.I. y Ruiz, M.** 2016. Limnology of the San Roque Reservoir. En: Wunderlin, D. (Ed.), The Suquía River Basin (Córdoba, Argentina). Springer .207 p. Switzerland.
- Tremblay, R., Légaré, S., Pienitz, R., Vincent, W.F. and Hall, R.I.** 2001. Paleolimnological analysis of changes in the trophic status of Lake Saint-Charles, a drinking water reservoir for the Québec urban community. *Revue Des Sciences de L'eau* 489–510.
- Vaasme, T.** 2008. Grain size analysis of lacustrine sediments: a comparison of pretreatment methods. *Estonian Journal of Ecology* 231 – 243.
- Vicario, L.** 2008. Evaluación de las sequías Hidro-Meteorológicas en la cuenca del Dique San Roque- Córdoba. Tesis de Maestría en Recursos Hídricos, FCEfyN-UNC. Córdoba, Argentina.