

# Determinación de la ciclicidad temporal en los sedimentos varvados de la Laguna Mar Chiquita (Córdoba, República Argentina)

*Determination of the temporal cyclicity of the varvate sediments from Laguna Mar Chiquita (Córdoba, República Argentina)*

J.A. Morales (\*), E.L. Piovano (\*\*), S.R. Damatto-Moreira (\*\*\*), B.P. Mazzilli (\*\*\*), P.J. Depetris (\*\*), J. Borrego (\*) y J. Monterde (\*)

(\*) Universidad de Huelva, Facultad de Ciencias Experimentales, 21819 Huelva, España, jmorales@uhu.es, borrego@uhu.es, jmonter@uhu.es

(\*\*) F.C.E.F. y N., U.N.C., Velez Sarsfield 299, (5000) Córdoba, Argentina, epiovano@com.uncor.edu and pdepetris@com.uncor.edu

(\*\*\*) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Travessa R 400, Cidade Universitária, Butantã, SP 05508-900, Brasil, damatto@net.ipen.br and mazzilli@net.ipen.br

## ABSTRACT

*Laguna Mar Chiquita is the biggest lake in Argentina, probably originated 30.000 years ago. Three are the rivers discharging to this lake, which can pass from brackish-saline to hypersaline conditions related to changes in its water level. Changes in water salinity induce consequent changes in the sedimentary conditions, originating a varvate sedimentation consisting in a cyclic lamination when organic, non-organic and evaporitic laminae alternate. The combination between granulometric, radiometric and historic data permit to assert that the millimetric laminae correspond to normal varves, nevertheless centimetric varves and evaporitic levels are not originated by seasonal variations in the lake, but by cyclic wet and dry climatic periods.*

**Key words:** lacustrine sediments, Pb-210 radiometric ages, accumulation rates, laminae scale cyclicity.

*Geogaceta*, 27 (1999), 119-122

ISSN: 0213683X

## Introducción

La Laguna Mar Chiquita (W62°15' a W63°15' - S30°10' a S31°00'; Córdoba, República Argentina) es el mayor sistema lacustre de la República Argentina y uno de los mayores del mundo (Fig. 1). Son tres los ríos que descargan sus aguas sobre la laguna: por el Norte el Río Dulce y por el Sur el Río Xanaes y el Río Suquía, que desemboca en la Laguna del Plata, conectada a través de un estrecho a la Mar Chiquita. El lago se originó probablemente alrededor de 30.000 años atrás (Martínez, 1991).

Una de las características más significativas de este sistema lacustre es la presencia de importantes fluctuaciones en el nivel de agua, que definen dos periodos bien diferenciados: los periodos de nivel bajo (LLP) y los de nivel alto (HLP). De este modo el área lagunar puede incrementarse desde los 1,960 km<sup>2</sup> que presentaba en 1977 a los 5,772 km<sup>2</sup> de 1982 (Reati *et al.*, 1992). Las características químicas del agua varían de igual modo entre los dos periodos distintos, pasando de condiciones ligeramente salinas en los HLP a características hipersalinas

durante los LLP. Las condiciones ambientales del lago experimentan importantes cambios relacionados con estas variaciones de salinidad, influyendo sobre la vida en el mismo y sobre las condiciones de sedimentación, que quedan reflejadas en las facies preservadas.

En este trabajo se presentan los resultados sedimentológicos preliminares de 12 testigos de pistón obtenidos en la Laguna Mar Chiquita durante la campaña de campo realizada en octubre de 1997. Los testigos fueron tomados en el sector próximo a la desembocadura de los ríos Xanaes y Suquía al objeto de estudiar su influencia en la sedimentación lacustre, éstos aparecen localizados en la figura 1

## Metodología

Los testigos de sedimento fueron obtenidos desde una embarcación mediante el uso de un testificador de tipo Hand-corer Beeker Sampler de la marca Eijkamp, en profundidades de entre 0 y 7,5 metros. También fueron recolectadas en los mismos puntos muestras de fondo mediante el uso de una draga de cangilones.

El ordenamiento interno de los testigos fue identificado mediante radiografías, posteriormente fueron abiertos en dos mitades usando una amoladora fijada a banco. Las varvas observadas en los testigos fueron diferenciadas usando un densitómetro digital sobre las tonalidades inversas de la radiografía.

El tamaño de grano del sedimento fue determinado a través de un Contador de partículas Coulter Counter modelo ZM. Se determinaron los parámetros texturales de Folk y Ward (1957). La materia orgánica se determinó por calcinación a 480°C, de acuerdo con el método de Cou-rau (1983).

Una selección de muestras fue observada en microscopio electrónico de barrido (SEM) al objeto de detectar posibles particularidades texturales, mineralógicas y paleontológicas.

La medida de los radionúclidos <sup>226</sup>Ra y <sup>210</sup>Pb fue usada para determinar las tasas de sedimentación. Estos fueron determinados cada 2 cm del testigo (García-Tenorio, 1986). Las muestras de sedimento fueron secadas a 60 °C y tamizadas a través de una malla de 0,065 mm después de secas. Posteriormente fueron

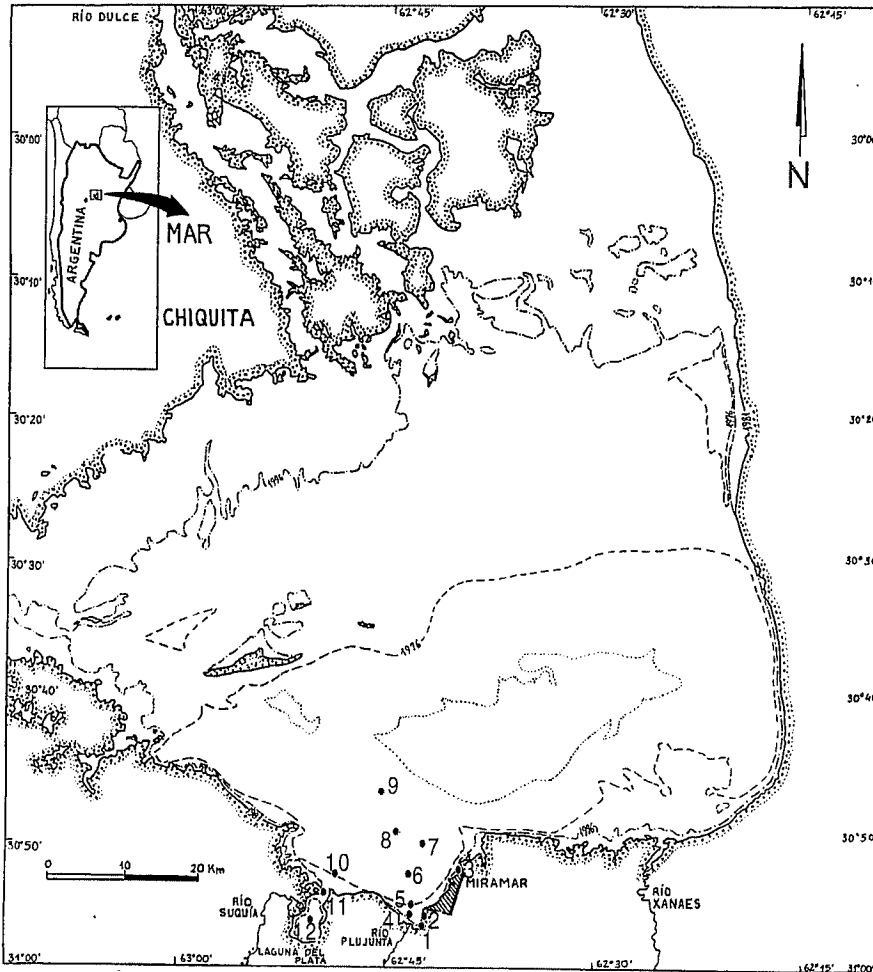


Figura 1.- Localización del área de estudio y de los testigos de sedimento.

Figure 1.- Location of the study area and the sediment cores.

minas pueden presentar una población anómalamente alta (hasta el 70%) de arenas muy finas cuya abundancia no se corresponde con la distribución gaussiana del resto de la muestra (Fig. 3). El contenido en materia orgánica de estas láminas claras oscila entre el 2 y el 7%.

**Láminas oscuras:**

También presentan distribuciones granulométricas en forma de campana de Gauss, en este caso asimétrica hacia el fino, en la que claramente dominan las poblaciones inferiores a 6 unidades phi, que corresponden a los materiales depositados por procesos de floculación (Fig. 4). En estas láminas el contenido en fracciones de limos gruesos y medios procedentes de decantación es muy poco importante. Algunas de estas láminas pueden también presentar una población anómalamente alta (hasta el 20%) de arenas muy finas y cuya abundancia tampoco se corresponde con la distribución gaussiana del resto de la muestra.

Los contenidos en materia orgánica de las capas oscuras son bastante más altos que los de las capas claras, oscilando entre el 25 y el 40%.

disueltas en ácidos: HNO<sub>3</sub> (conc.), HF (40%), H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (30%), digeridas en un microondas y sometidas al procedimiento radioquímico para la determinación de Ra y Pb. Las fechas fueron calculadas por el modelo CRS de Ivanovich y Harmon (1992).

Las dataciones de <sup>14</sup>C fueron realizadas por los laboratorios Geochron en Massachussets (U.S.A.).

**Resultados sedimentológicos**

El principal rasgo sedimentológico que presentan todos los testigos es una laminación paralela muy marcada de espesor milimétrico en la que se observa una clara ciclicidad a escala de laminación, consistente en la alternancia de láminas oscuras y láminas claras, existiendo además intercalaciones evaporíticas de espesor milimétrico o centimétrico.

El tamaño de grano es predominantemente lutítico, indicando una claro dominio de los procesos de decantación y

floculación, aunque existen diferencias patentes entre las láminas claras y oscuras en cuanto a la distribución de las poblaciones granulométricas y en cuanto al contenido en materia orgánica, que queda además reflejado por los valores densitométricos (Fig.2).

La proporción de arena muy fina es generalmente escasa, aunque puede llegar al 70 % en algunas láminas claras. De este modo, a continuación se detallan las características tipológicas de los tres tipos de láminas.

**Láminas claras:**

Presentan distribuciones granulométricas en forma de campana de Gauss asimétrica hacia el grueso, en la que claramente dominan las poblaciones comprendidas entre 3 y 6 unidades phi, correspondiente a materiales transportados en suspensión y depositados por decantación, frente a los tamaños inferiores a 6 unidades phi, procedentes de los procesos de floculación. Algunas de estas lá-

% de negro en colores invertidos de la radiografía

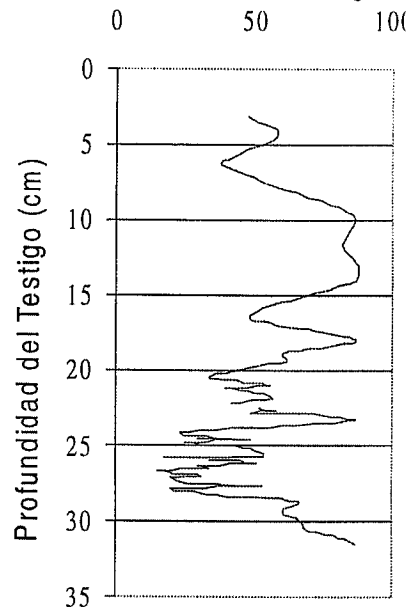


Figura 2.- Curva de saturación en negro en colores invertidos obtenidos de la radiografía en el testigo 12.

Figure 2.- Inverse color black saturation curve, obtained from the X-ray radiograph of the core 12.

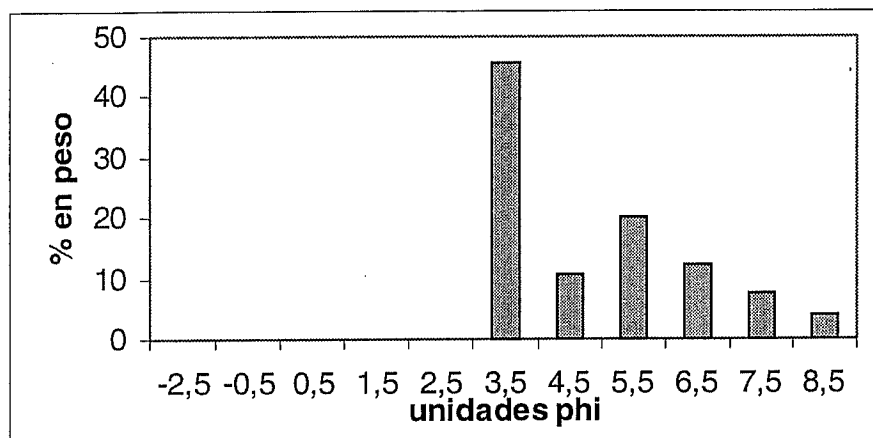


Fig. 3.- Distribución granulométrica típica de las láminas claras.

Fig. 3.- Grain size distribution typical of the clear laminae.

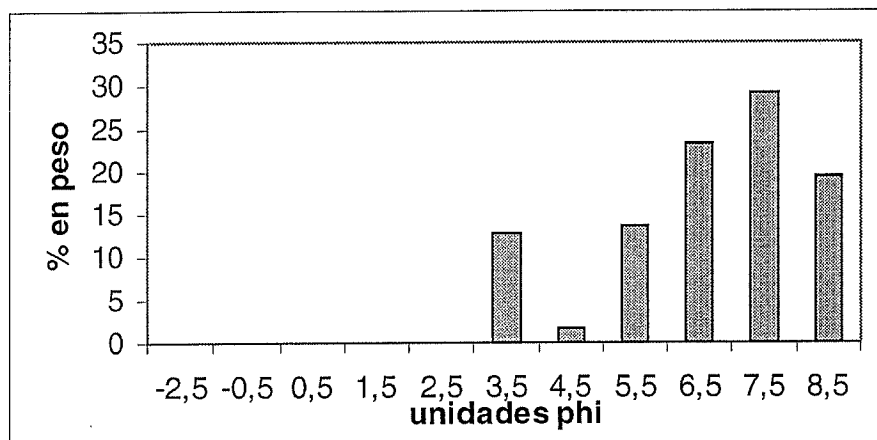


Figura 4.- Distribución granulométrica típica de las láminas oscuras.

Figure 4.- Grain size distribution typical of the dark laminae.

#### Niveles evaporíticos:

Son niveles de espesor variable, comprendido entre los pocos mm y los 3 cm, compuestos mayoritariamente de halita, yeso, aunque los cristales de estos minerales pueden también tener una matriz lutítica.

Las relaciones entre los distintos minerales evaporíticos han sido estudiadas en el microscopio electrónico de barrido, habiéndose observado cristales de halita de distintas generaciones, unos anteriores a los cristales de yeso y otros posteriores a los mismos, así como estructuras de redisolución de los cristales de halita.

#### Resultados radiométricos

Las edades isotópicas fueron determinadas en el testigo 12, situado en el centro de la Laguna del Plata. El perfil

de datos por  $^{210}\text{Pb}$  (Fig. 5) muestra una tendencia (tren) lineal muy bien definido desde la superficie (nivel 0) hasta el centímetro 36. Utilizando como calibración que el nivel 0 corresponde al año 1997, el nivel 36 cm corresponde al año 1941. Estos resultados indican una tasa de sedimentación de 0.6 cm por año. El nivel inferior del testigo (cm 52) presenta una tasa de sedimentación algo mayor (0.7 cm por año). Estas tasas corresponden a valores promedios mínimos, ya que para su cálculo no se contemplan interrupciones en la sedimentación por exposición subaérea del sustrato. Las edades anómalas obtenidas entre los centímetros 36 y 50 se deben a un enriquecimiento en  $^{210}\text{Pb}$  por exposición del sustrato durante períodos extremos de LLP.

El nivel 110 cm del testigo 7 arroja una edad por  $^{14}\text{C}$  de  $1670 \pm 40$  años AP. De haber existido una continuidad en el

sistema, la tasa de sedimentación sería entre 0.64 y 0.66 mm por año. Se sabe que esto no es real, ya que durante largo tiempo la laguna ha estado completamente seca, como por ejemplo durante la pequeña edad del hielo (Siglo XVII), época de la cual se preservan geofformas eólicas.

#### Interpretación, discusión y conclusiones

Para interpretar los resultados obtenidos se ha tenido en cuenta el registro histórico de los niveles de la laguna (Fig. 6), haciendo corresponder con éstos los datos sedimentológicos mediante los datos ofrecidos por los métodos radiométricos. Estos valores del nivel del lago están referidos al nivel medio del mismo (cota topográfica 66.5 m sobre el nivel del mar), de tal modo que niveles superiores a éste (HLP) están referidos como niveles positivos y niveles inferiores (LLP) como valores negativos. Los datos históricos han sido tomados de un informe realizado por la Universidad Nacional de Córdoba (1988).

La comparación de este diagrama con los datos densitométricos de los testigos es coherente con los datos ofrecidos por las tasas de acumulación, deduciéndose que la alternancia de láminas milimétricas claras y oscuras observada en los testigos de la Laguna Mar Chiquita corresponde con un varvado estacional, marcado por las condiciones de temperatura del agua y las condiciones de aporte de los ríos. De tal modo, durante el verano, tiene lugar el depósito de las láminas claras con mayor participación de texturas arenosas, mientras que durante el invierno, disminuye el aporte fluvial y la salinidad resultante genera condiciones aptas para el aumento de microorganismos. En este período dominan los procesos de floculación aumentando así el contenido orgánico del sedimento que genera láminas oscuras.

Las láminas centimétricas, así como la agrupación en paquetes de láminas predominantemente claras y predominantemente oscuras, y la presencia de niveles evaporíticos marca una ciclicidad de jerarquía temporal mayor. Esta ciclicidad está claramente relacionada con la variación de los niveles de la laguna inducida por cambios climáticos, como son al alternancia de períodos húmedos seguidos por períodos de sequía. Durante los períodos secos predominan los procesos de evaporación, con lo cual se favorece la floculación, a la vez que, al aumentar la salinidad hasta condiciones hipersalinas, proliferan las poblaciones de *Artemia sa-*

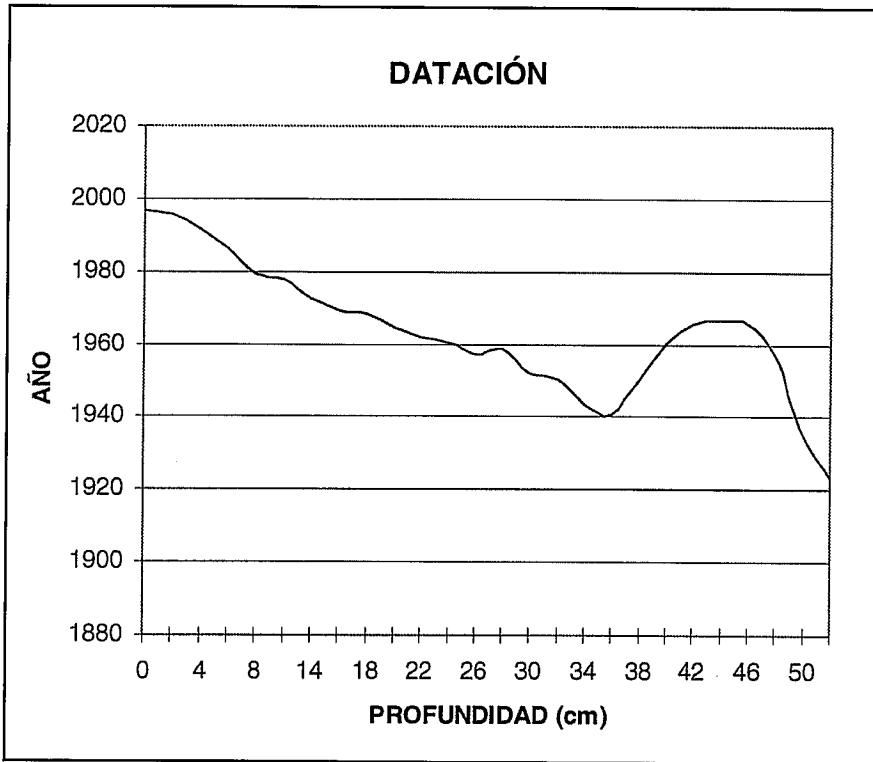


Figura 5.- Datación obtenida por  $^{210}\text{Pb}$  en el testigo 12.

Figure 5.-  $^{210}\text{Pb}$  radiometric ages obtained for the core 12.

lina, hasta un umbral máximo, cuyos organismos muertos hacen aumentar el contenido en materia orgánica del sedimento. Si estos periodos de evaporación son extremadamente prolongados se alcanza la sobresaturación en sales y se origina un nivel evaporítico.

Por otra parte, se observa, cómo la anomalía en los valores de  $^{210}\text{Pb}$  en el testigo 12 por debajo del cm 36 puede corresponder con un periodo de LLP en la que la parte de la laguna donde fue tomado el testigo quedó expuesta durante un periodo prolongado.

Hay que tener en cuenta además, que durante los periodos LLP no se producen variaciones significativas estacionales en la salinidad de la laguna, ésta es la causa de que a veces la alternancia milimétrica entre láminas claras y oscuras esté ausente y se conforme una paquete negro de espesor centimétrico. Durante estos periodos una dilución eventualmente alta puede provocar la redisolución parcial de los cristales de halita, mientras que un nue-

vo aumento de la salinidad puede hacer precipitar evaporitas nuevamente, este hecho se deduce de las texturas observadas en el microscopio electrónico y de la presencia de cristales de halita de varias generaciones dentro de los mismos niveles evaporíticos. Durante los periodos húmedos (HLP) las descargas fluviales estacionales serán mayores introduciendo en la laguna grandes cantidades de materia en suspensión, la salinidad y las poblaciones de *Artemia* disminuyen durante estos periodos, dando lugar al depósito de láminas mas gruesas y predominantemente claras.

La presencia de una población de arena muy fina en láminas tanto claras como oscuras, estaría relacionada con la introducción en el sistema de arenas fluviales y eólicas.

**Agradecimiento**

Este trabajo presenta resultados preliminares del proyecto "Investigación de la Evolución Paleolimnológica de la La-

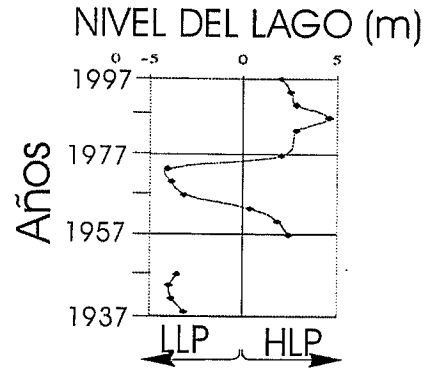


Fig. 6.- Registro histórico de los niveles de la Laguna Mar Chiquita.

Fig. 6.- Water levels historical record of the Laguna Mar Chiquita.

guna Mar Chiquita. Córdoba, República Argentina", subsidiado por el programa de Investigación y Desarrollo de la SECYT Univ. Nac. Córdoba.

**Referencias**

Courau, P. (1983): *Centr. Nat. Explor. Ocean.* Brest. 395 pp.  
 Folk, R.L. y Ward, W.C. (1957): *Jour. Sed. Petrol.*, 27:3-26  
 García-Tenorio, G.B.R. (1986): *Tesis Doctoral.* Universidad de Sevilla. 325 pp.  
 Ivanovich, M. y Harmon, R.S. (1992): Clarendon Press - Oxford. 227 pp.  
 Martínez, D.E. (1991): *Tesis Doctoral,* Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, UNC, 219 pp.  
 Moreira, S.R.D. (1993): *Dissertação de mestrado.* Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.  
 Oliveira, J. 1993. *Dissertação de mestrado.* Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.  
 Reatti, G.; Florín, M.; Fernández, G.J. y Montes C. (1997): *Journal of Salt Lake Research*, 5: 187-219.  
 F.C.E.F. y N. De la U.N.C., (1998): *Convenio Ministerio del Interior, Provincia de Córdoba y Consejo Federal de Inversiones.* 425 pp.