

# EL REGISTRO DE LA PEQUEÑA EDAD DE HIELO EN LAGUNAS PAMPEANAS

Cecilia LAPRIDA, María Julia ORGEIRA y Natalia GARCÍA CHAPORI

CONICET - Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.  
E-mails: chechu@gl.fcen.uba.ar; orgeira@gl.fcen.uba.ar; nataliag@gl.fcen.uba.ar.

## RESUMEN

Se conoce como Pequeña Edad de Hielo (LIA) al episodio acontecido entre el siglo 16 y mediados del siglo 19, durante el cual el clima en Europa se tornó frío y ocasionalmente tormentoso. En ciertas partes de Europa, las observaciones instrumentales lo abarcan parcialmente, pero para Sudamérica no se dispone de registros instrumentales contemporáneos a dicho evento. Con el objetivo de obtener nuevas evidencias para el período comprendido por la Pequeña Edad de Hielo en la llanura pampeana, se analizaron testigos cortos de la laguna de Chascomús y de la laguna del Monte los que, de acuerdo a dataciones AMS, abarcan los últimos 500 años. Ambos testigos constan de tres secuencias granodecrecientes. El análisis del registro de la laguna de Chascomús ha permitido reconocer un período benigno desde fines del siglo 15 hasta alrededor del 1700, cuando se evidencia una retracción de la laguna que inaugura un período seco. Este episodio habría continuado por casi 150 años y se revierte alrededor de 1850, momento a partir del cual los eventos de excesos hídricos comenzaron a dominar el escenario pampeano. La base del testigo de la laguna de Monte fue datada en 1441-1494 AD. Si bien el modelo de edades para este testigo aún no ha podido ser bien establecido, los eventos de Chascomús y Monte podrían ser correlacionables y expresar tendencias seculares regionales de la humedad.

Palabras clave: *Lagos pampeanos, Pequeña Edad de Hielo, Holoceno.*

**ABSTRACT:** *The record of the Little Ice Age in the Pampean lakes.* The Little Ice Age (LIA) is a climate episode between the 16<sup>th</sup> and middle 19<sup>th</sup> centuries, characterized in Europe by colder temperatures and occasionally stormy weather. In certain areas of Europe, long instrumental observations record the Little Ice Age partially; however, in the pampean region meteorological data only started about one hundred years ago. The objective of this contribution is to provide new evidences about the Little Ice Age in the Pampean plain based on lake cores. Short cores of Chascomús and Monte lakes were analyzed and, according to AMS data, they span the last 500 years. The Chascomús core consists of three fining upward sequences. Sedimentological and biological proxies demonstrate a benign period from the end of the 15<sup>th</sup> century. Around 1700 AD lake level decreased and a dry period started and lasted for almost 150 years. After 1850 AD higher lake levels and increased moisture dominate the pampean scenario. The del Monte lake core is also composed of three fining upwards sequences, and AMS chronology assigned a basal age between 1441-1494 AD. Although the model age needs improvement, the events of Chascomús and del Monte lakes seem to be correlated and show coherent regional tendencies of humidity and droughts during the last 500 years.

Keywords: *Pampean lakes, Little Ice Age, Holocene*

## INTRODUCCIÓN

La dependencia del hombre respecto del medio natural ha sido expresada por el historiador y periodista Will Durant "*La civilización existe con consentimiento geológico, el que puede ser cancelado sin previo aviso*" (Durant 1991). Este consentimiento incluye uno de los aspectos más controversiales que enfrenta la comunidad científica internacional, como lo es la evolución climática en distintas escalas espacio-temporales de los últimos miles de años. Durante dicho período se han establecido comple-

jas relaciones entre las estructuras socioeconómicas y los cambios ambientales, que son los que han modelado nuestra sociedad moderna (Oldfield y Alverson 2003). Numerosas investigaciones intentan encontrar las claves de estas relaciones a través del estudio del clima reciente y pasado. Hoy sabemos que el registro Holoceno, que había sido interpretado como un período de clima relativamente estable, ha presentado una serie de cambios climáticos en escalas mileniales y seculares asociadas a variabilidad interna del sistema climático terrestre (*e.g.*, interacciones en-

tre los patrones de circulación oceánica) o bien a forzantes externas (*e.g.*, variaciones en la actividad solar y cambios en la insolación) (*cf.* Wanner *et al.* 2008, para una revisión del tema).

El estudio paleoclimático de los últimos 1.000 años presenta particular interés, ya que los archivos de esta ventana temporal proveen datos para las reconstrucciones de alta resolución y permiten evaluar la salida de modelos climáticos en escalas de alta frecuencia. Para el Hemisferio Norte, en donde existe un mayor número de registros y una mejor calibración, las re-

construcciones de este período indican un descenso general de las temperaturas de aproximadamente 0,2°C hasta 1900, momento a partir del cual las temperaturas aumentan notablemente (Bradley *et al.* 2003). Sobreimpuestos a esta tendencia general, hubo períodos de decenas a cientos de años durante los cuales la temperatura fue mayor o menor a la tendencia general. Uno de estos episodios se conoce con el nombre de Pequeña Edad de Hielo (*Little Ice Age*, LIA). Según Denton y Karlén (1973), este episodio climático, que se desarrolló posteriormente a otro relativamente más cálido conocido como Óptimo Climático Medieval (*Warm Medieval Period*, WMP), es el último pulso de una serie de eventos fríos, o neoglaciaciones, que acontecieron en los últimos 5.000 años.

La Pequeña Edad de Hielo se desarrolló entre 1350 y 1850 AD, aunque parecen existir diferencias en su estilo en medias y altas latitudes de los hemisferios Norte y Sur (Wanner *et al.* 2008). Períodos más fríos que la tendencia general se manifestaron especialmente en el siglo 15, hacia finales del 17 y durante todo el 19. Si bien la cronología e intensidad de estos pulsos fríos es aún tema de debate, puede generalizarse que en el Hemisferio Norte los tres máximos habrían ocurrido alrededor de 1650 AD, 1770 AD y 1850 AD, cuando se registraron avances en los glaciares de valle en los Alpes, Noruega, Irlanda y Alaska, separados por intervalos ligeramente cálidos. El análisis de datos climáticos durante este lapso permite inferir una disminución de la temperatura media anual menor a 1°C (Crowley 2000).

La cronología detallada de las distintas fases internas de la Pequeña Edad de Hielo, el carácter más húmedo de algunas de ellas, su reconocimiento en el Hemisferio Sur, su potencial correlación entre los dos hemisferios y las posibles relaciones causales con cambios globales en la insolación, dinámica oceánica u otros factores externos son temas de especial interés en el ámbito del estudio del clima del pasado reciente.

### La Pequeña Edad de Hielo en Argentina

Los datos que permiten reconocer la Pequeña Edad de Hielo en América del Sur son relativamente escasos. En Patagonia Norte, su reconocimiento se basa en avances glaciarios (Glasser *et al.* 2002) y en datos dendrocronológicos (Villalba 1990, entre otros). En esta región se emplearon series de anchos de anillos de alerce para reconstruir las variaciones de la temperatura del verano a partir del año 890 AD. Esta reconstrucción muestra importantes cambios en la temperatura de verano. Condiciones más frías ocurrieron entre 1300 AD y 1380 AD, entre 1520 AD y 1660 AD, alrededor de 1800 AD y 1830 AD y durante la primera década del siglo 20.

En lo que se refiere al reconocimiento de la Pequeña Edad de Hielo en latitudes medias, los datos son aún más escasos. En tal sentido, cabe mencionar a Cioccale (1999) quien sintetiza las evidencias de fluctuaciones climáticas acontecidas en los últimos 1.000 años en la región central de Argentina. Según Cioccale (1999), durante la Pequeña Edad de Hielo las llanuras tuvieron climas templados semiáridos a áridos, contemporáneamente al avance de los glaciares cordilleranos. En el oeste, los sistemas fluvio-lacustres estuvieron más extendidos, en contraposición con la región este, lo que sugiere que el período parece no haber sido homogéneo en latitudes medias.

Evidencias basadas en mamíferos sugieren tendencias secas y áridas para los 440 años BP (Tonni *et al.* 1999) pero algo más benignas para los 300 años BP (Pardiñas y Tonni 2000) lo que indicaría la existencia de oscilaciones climáticas en escalas seculares en la región pampeana.

Montcault (2001) presenta una recopilación de datos históricos, con especial énfasis en las inundaciones y sequías en la llanura pampeana bonaerense para el lapso 1576-2001. Según Montcault (2001), durante el período comprendido por la Pequeña Edad de Hielo habrían existido importantes sequías. Deschamps *et al.* (2003) presentan la reconstrucción y el

análisis de las precipitaciones en Buenos Aires para los últimos tres siglos, sobre la base de un análisis histórico, arquitectónico y flora-faunístico. Basándose en la arquitectura del Buenos Aires tardío-colonial, estos autores infieren escasas lluvias en los inicios del siglo 19. Hasta 1842, sobre un total de 268 años analizados hubo un 36% de años de sequía y un 5% de años con inundaciones. En contraposición, desde 1842 al 2001 se han registrado un 10% de años de sequía y 25% de años con inundaciones.

Los estudios paleolimnológicos son escasos en el país. Piovano *et al.* (2002) presentaron los resultados obtenidos en testigos de la laguna de Mar Chiquita (N de Córdoba). La información geoquímica, radiométrica y sedimentológica permitió inferir ciclos de salinidad asociados a cambios de nivel de la laguna. Sobre esta base establecieron un período de marcado déficit hídrico iniciado en torno al año 1770 AD, que se relaciona a la fase final de la LIA.

Piovano *et al.* (2006) sintetizaron la sucesión de cambios climáticos registrados en el N de Córdoba y NO argentino. Desde 1750 AD a 1770 AD se registra un ciclo húmedo, con períodos muy secos intercalados. Posteriormente a 1770 tuvo lugar una fase muy seca que duró aproximadamente 30 años. Datos históricos indican que el déficit hídrico en el área fue muy marcado en el último cuarto del siglo 18 y comienzos del 19.

Por último, Laprida y Valero Garcés (2009) proponen la evolución paleoambiental de la laguna de Chascomús para los últimos 500 años a partir del estudio de las asociaciones de ostrácodos y de evidencias sedimentológicas y geoquímicas. Reconocieron una marcada salinización de las aguas entre principios del siglo 18 y mediados del siglo 19, que incluye la Pequeña Edad de Hielo.

El objeto de la presente contribución es por una parte presentar nuevos resultados obtenidos del análisis de proxies geofísicos (en particular susceptibilidad magnética como indicador de dinámica sedimentaria) y biológicos (en particular ostrácodos como indicadores hidrogeoquímicos)

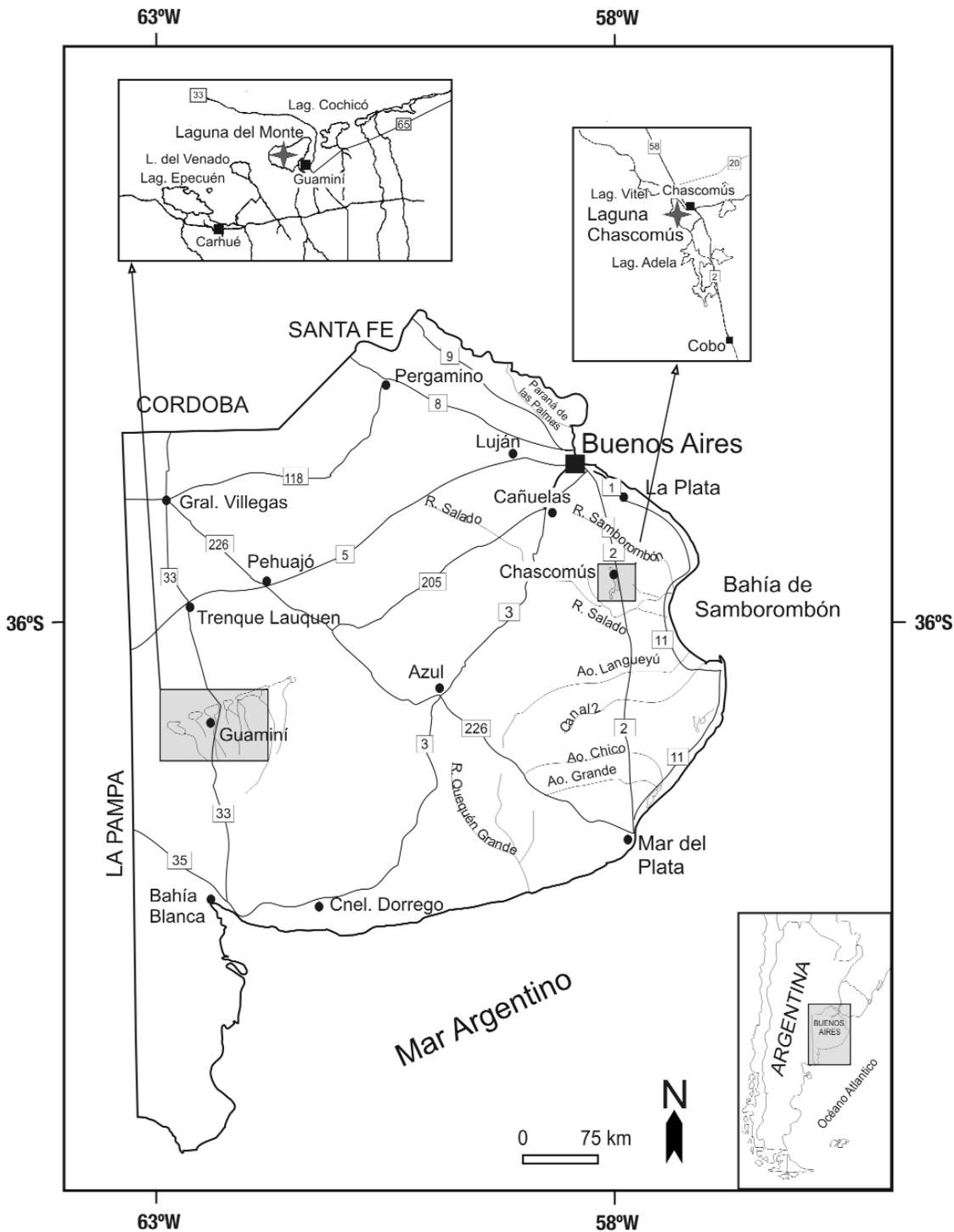


Figura 1: Mapa de ubicación.

de testigos de sedimentos de fondo de lagunas de la llanura pampeana en el sector noreste y sudoeste de la provincia de Buenos Aires, así como correlacionar eventos climáticos locales allí registrados con otros registros de la región y el mundo durante el Holoceno tardío-tardío.

### METODOLOGÍA

Se extrajeron testigos sedimentarios de aproximadamente 40 cm del centro de las lagunas de Chascomús y del Monte (Fig. 1). Se empleó un sacatestigo gravitatorio provisto por el *Limnological Research Center* (LRC), Universidad de Minnesota. Los tes-

tigos fueron analizados en el LRC considerando sus propiedades físicas (en particular densidad y susceptibilidad magnética) mediante un *Geotek MSCL* a intervalos de 1 cm. Luego, los testigos fueron abiertos y las facies sedimentarias definidas visualmente considerando textura, color, contenido biogénico, estructuras

sedimentarias y tamaño de grano.

Los testigos fueron submuestreados a intervalos de 1,5 cm midiéndose en el Instituto de Geofísica Daniel Valencio (INGE-ODAV). La susceptibilidad magnética máxima con un susceptibilímetro Bartington MS2, a baja y alta frecuencia (470 y 4700 Hz, respectivamente). Todas las mediciones fueron normalizadas a peso. No se registraron variaciones en las lecturas a diferente frecuencia.

La porción remanente de las submuestras (entre 5 y 10 gr aproximadamente) se procesó mediante inmersión en H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 10% y lavado sobre tamiz de 63 µm. El residuo obtenido fue analizado bajo lupa binocular y los ostrácodos y otros microfósiles extraídos. Las edades estimadas de las secuencias se basaron en dos dataciones AMS <sup>14</sup>C realizadas sobre material vegetal de origen terrestre para evitar efecto reservorio (muestras AA60925 1484A -base del testigo de laguna de Chascomús- y AA60926 1484A -base del testigo de laguna del Monte-). Para ello, sedimento proveniente de la base de los testigos fue lavado sobre tamiz de 100 µm con agua destilada y el residuo revisado bajo lupa binocular para extraer restos vegetales bien preservados. El material recuperado fue conservado en una solución de ácido acético 10%. Las dataciones fueron calibradas usando el programa CALIB 5.1 (Stuiver *et al.* 1998). La base del testigo LCH2 (muestra 23, 37 cm) de la laguna de Chascomús arrojó una edad de 373 ± 36 años <sup>14</sup>C BP (cal 1453-1520 AD). Por su parte, la base del testigo LM1 (muestra 1, 42 cm) de la laguna del Monte arrojó una edad de 399 ± 36 <sup>14</sup>C BP (cal 1494-1441 AD), con lo cual ambos registros abarcan a la Pequeña Edad de Hielo (Figs. 2a y 2b).

Para la construcción del modelo de edades se consideró una tasa de sedimentación lineal. Esta se considera válida ya que no existen discontinuidades evidentes ni grandes contrastes en las facies sedimentarias reconocidas a lo largo del testigo; ello indicaría *a priori* que la sedimentación fue continua en el lapso temporal involucrado en la depositación.

## CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La llanura pampeana presenta un clima húmedo a subhúmedo mesotermal, con marcada disminución de las precipitaciones hacia el oeste. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 13°C y 16°C. En verano la temperatura media mensual varía entre 21° y 23°C y en invierno entre 7° y 9°C (Sala 1975). La región se encuentra dominada por la influencia del anticiclón semipermanente del Atlántico Sur por lo cual es frecuente el flujo norte y noreste que advecta aire cálido y húmedo en especial durante el verano.

La laguna Chascomús se encuentra en el sector oriental de la pampa deprimida (Frenguelli 1950). Se trata de una laguna permanente, abierta y de agua dulce ubicada en el tramo inferior del río Salado. Constituye el segundo cuerpo límnic del sistema de las Encadenadas de Chascomús, cuya cuenca abarca una extensión de 801 km<sup>2</sup> (Miretzky 2001). El sistema comienza en la laguna Vitel que, mediante el arroyo Vitel sur, se comunica con la laguna de Chascomús (Fig. 1) y tiene un sólo emisario: el arroyo Girado, que desagua en la laguna Adela.

La cubeta de la laguna de Chascomús tiene una superficie de 30 km<sup>2</sup> en cota IGM 6,53 m. Es un ambiente de una profundidad relativa muy baja, con una profundidad máxima de 3,42 m y una profundidad media de 1,53 m (Dangavs 1976). Carece de estratificación térmica o química (Cordini 1938). La mezcla vertical favorece la saturación del oxígeno disuelto y el alto contenido de materia orgánica disuelta (Conzonno y Fernández Cirelli 1987), y posee el status trófico correspondiente al de una laguna hipereutrófica (Conzonno *et al.* 2001, Quirós 1988). Recibe aportes hídricos de la precipitación atmosférica, del escurrimiento superficial y del agua subterránea (Ringuelet 1962). Excesos o déficits hídricos provocan importantes cambios en ciertas características químicas del agua (Conzonno y Claverie 1990) como la salinidad, que oscila entre 744 y 2.680 mg/l (Dangavs *et al.*

1996). Las aguas suelen ser alcalinas y básicas (Dangavs *et al.* 2006, Fernández Cirelli y Miretzky 2004) y cloruradas sódicas (Dangavs *et al.* 1996, Miretzky *et al.* 1998, Fernández Cirelli y Miretzky 2004) aunque luego de fuertes lluvias pueden ser bicarbonatadas sódicas (Laprida 2006).

La laguna del Monte (37°00'S, 62°30'O; 100 m s.n.m.) forma parte de la cuenca endorreica del sudoeste (Iriarte en Torsani *et al.* 1994), situada en el extremo suroccidental de la pampa deprimida, en el límite con la pampa elevada. La laguna forma parte de un rosario de lagunas denominadas Encadenadas del Oeste: recibe la descarga de los arroyos Malleo Leónfú y Guaminí, descargando hacia la laguna del Venado con la cual forma una masa de agua común en momentos de inundación. Marca la transición de la región pampeana a las regiones central y subandina (Frenguelli 1950). Posee un área de 174,5 km<sup>2</sup> y una profundidad media de 4,8 m, aunque la profundidad máxima alcanza los 7,7 m (Van Eerden y Ledesma 1994). La condición química de sus aguas es mesohalina clorurada sódica hemibicarbonatada, con un residuo sólido de 4.000 mg/l (Van Eerden y Ledesma 1994). Laprida (2006) consigna un valor de TDS = 8,933 mg/l, y establece que las aguas son fuertemente alcalinas (>350 mg/l HCO<sup>3-</sup>), fuertemente básicas (pH = 9,05), muy poco oxigenadas (DO = 2 mg/l) y con una composición iónica hemi a cloruradas sódicas hemibicarbonatadas hipomagnésicas.

Existen numerosas evidencias históricas que indican que el área ha sufrido numerosos episodios de sequía que han influido en la profundidad de la laguna. Por ello, los "niveles históricos" del espejo de agua no pueden ser tomados como un concepto estático ya que presentan fluctuaciones muy importantes vinculadas a los ciclos climáticos y sus modulaciones (Sellés Martínez 1985). Los valores isotópicos obtenidos para la laguna del Monte demuestran que se trata de un cuerpo de agua sometido a evaporación ( $\delta^{18}\text{O} = 2,645\text{‰}$ ;  $\delta^2\text{H} = 28,395\text{‰}$ , valores medidos el 15/01/2002 a 5 m de profundidad,

usando como patrón V-SMOW).

## RESULTADOS OBTENIDOS

El registro sedimentario de los testigos analizados abarca aproximadamente los últimos 500 años.

En los testigos de Chascomús se reconocieron tres secuencias granodecrecientes que se corresponden con leves variaciones en el color (Fig. 2a). Estas secuencias están compuestas, de base a techo, por arenas cuarzosas muy finas con matriz limo-arcillosa y limos arenosos masivos de color gris oscuro, con presencia de carbonatos; le siguen limos carbonáticos grises masivos con abundante materia orgánica, abundantes gasterópodos, oogonios de caráceas y diatomeas, culminando la secuencia con arcillas grises masivas con abundantes diatomeas. El contacto entre estas facies sedimentarias es transicional. La base de cada una de las secuencias coincide con leves incrementos en el porcentaje de material detrítico tamaño arena, incremento que es particularmente notable en la base de la secuencia media. El contenido clástico se compone de material detrítico alogénico y material endogénico, incluyendo este último una gran cantidad de valvas y fragmentos de valvas de ostrácodos y, en menor medida, gasterópodos.

Los valores de susceptibilidad magnética son generalmente bajos, propios de sedimentos ricos en materia orgánica y carbonatos (Fig. 2b). Debido a ello, este parámetro no refleja la distribución de facies, aunque puede observarse un pico conspicuo cerca de la base de la secuencia media del testigo. Se hallaron gasterópodos, ostrácodos y semillas en todos los niveles del testigo, mientras que los oogonios de caráceas fueron poco abundantes. En lo que se refiere a las asociaciones de ostrácodos del testigo LCH2, tres especies conforman el 99% de la asociación: *Limnocythere* sp. aff. *staplini* (Gutentag y Benson), *Heterocypris similis* (Wierzejski) y *Cyprideis hartmanni* Ramírez, que es la especie dominante en la sección media del testigo (Fig. 2c). Por su parte *Limnocythere* sp. aff. *L. staplini* suele dominar en mues-

tras de la sección inferior. *Heterocypris similis* se halla presente en porcentajes variables en todas las muestras de la sección superior y en la base de la sección inferior, estando casi completamente ausente en la sección media del testigo (Fig. 2d). En el testigo LM2 (37 cm) de laguna del Monte también se reconocieron tres secuencias granodecrecientes (Fig. 3a). La base de las secuencias coincide con incrementos en el porcentaje de arenas finas a medias, lo que es particularmente notable en la base de la secuencia media, donde el porcentaje de la fracción arena supera el 50% (Fig. 3b). Estas secuencias están compuestas, de base a techo, por arenas medias a finas masivas de color gris oscuro, cuarzosas, con matriz limosa y abundante participación de carbonatos y clastos de tosca; le siguen limos arcillosos carbonáticos masivos con abundante materia orgánica y restos biogénicos consistentes en ostrácodos y abundantes diatomeas; la secuencia culmina con arcillas grises masivas y limos carbonáticos. El contacto entre estas facies sedimentarias es transicional. El contenido clástico está compuesto por material detrítico alogénico y por material endogénico, destacándose una gran abundancia de caparazones, valvas y fragmentos de valvas de ostrácodos. Las variaciones de la susceptibilidad magnética normalizada reflejan claramente las tendencias granulométricas, mostrando mayores valores en los niveles de granulometría más gruesa. Estos niveles son portadores de clastos de tosca de tamaño arena gruesa y eventualmente grava fina a gruesa (Fig. 3c). En el testigo LM1 (14 cm), se halla presente sólo la parte superior de la secuencia media y la secuencia superior, cuya base es claramente identificable por un pico notable en la susceptibilidad magnética (muestra LM1-5, Fig. 3d).

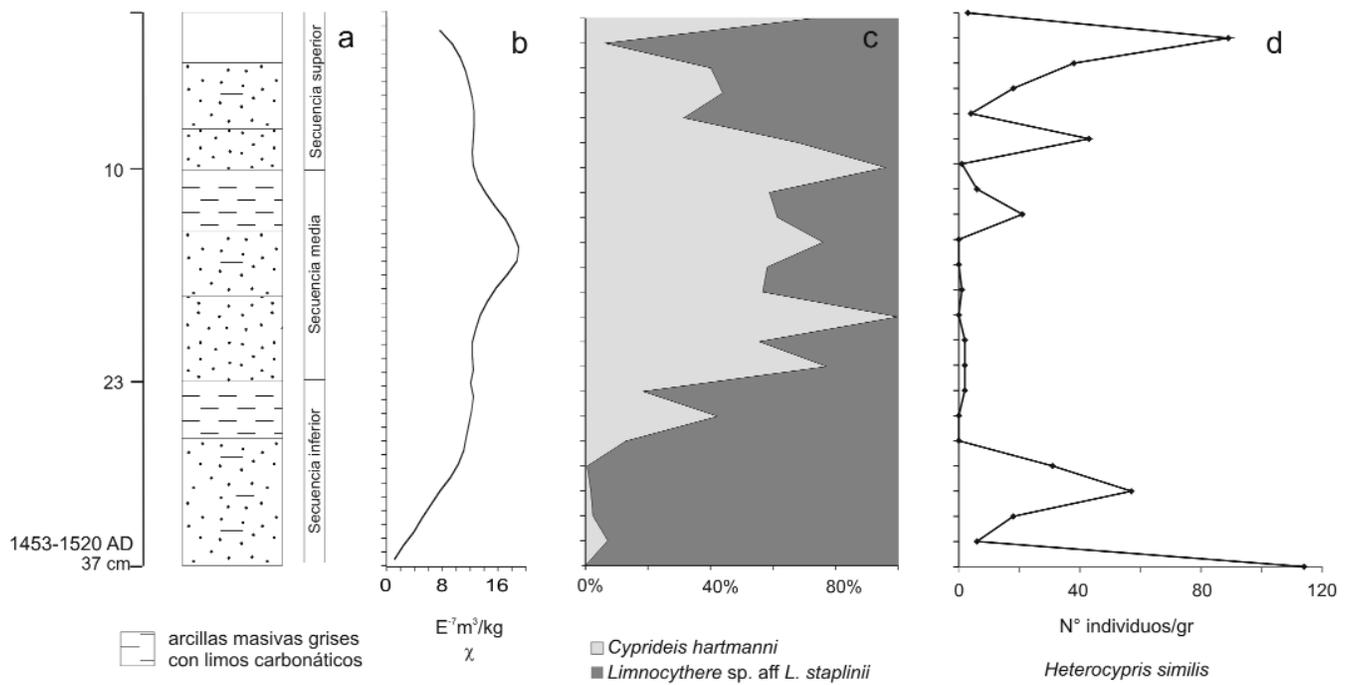
Los ostrácodos de los testigos de la laguna del Monte muestran remarcables diferencias respecto de los de la laguna de Chascomús. Por un lado, la concentración de individuos recuperados es mucho mayor y si bien todos los niveles fueron fértiles, la densidad de valvas y caparazones

varía notablemente a lo largo del testigo (Fig. 4a). En la base de las secuencias descriptas, esto es, en los niveles arenosos más gruesos con clastos de tosca, se recuperó un número bajo o relativamente bajo de individuos. Pero la diferencia más notable respecto de las asociaciones de Chascomús es la composición específica: a excepción de unas pocas valvas pertenecientes a los géneros *Chlamydotheca?* y *Heterocypris* presentes en escasos niveles, la asociación está constituida casi exclusivamente por *Limnocythere* sp. Cabe destacar que los ejemplares de *Limnocythere* sp. recuperados de los testigos de laguna del Monte son muy semejantes a los de *Limnocythere* sp. aff. *L. staplini*, recuperados de los testigos de Chascomús. Se diferencian principalmente por lo acentuado de la reticulación y por detalles en el contorno en el material de laguna del Monte. Diferencias fenotípicas relacionadas al desarrollo de la reticulación son frecuentes en géneros eurihalinos como *Limnocythere* y *Cyprideis*, aunque los morfotipos reticulados se desarrollan en ambientes de mayor salinidad. Otra particularidad del registro fósil de la laguna del Monte es la presencia de caparazones de foraminíferos asignables a *Ammonia beccarii* s.l. que aparecen en ambos testigos en torno a los picos de susceptibilidad e indicarían condiciones de mayor salinidad (Fig. 4a). *A. beccarii* fue hallada habitando lagunas costeras hipohalinas, y su ocurrencia en lagos salinos interiores es bien conocida en los cinco continentes (Anadón 1989).

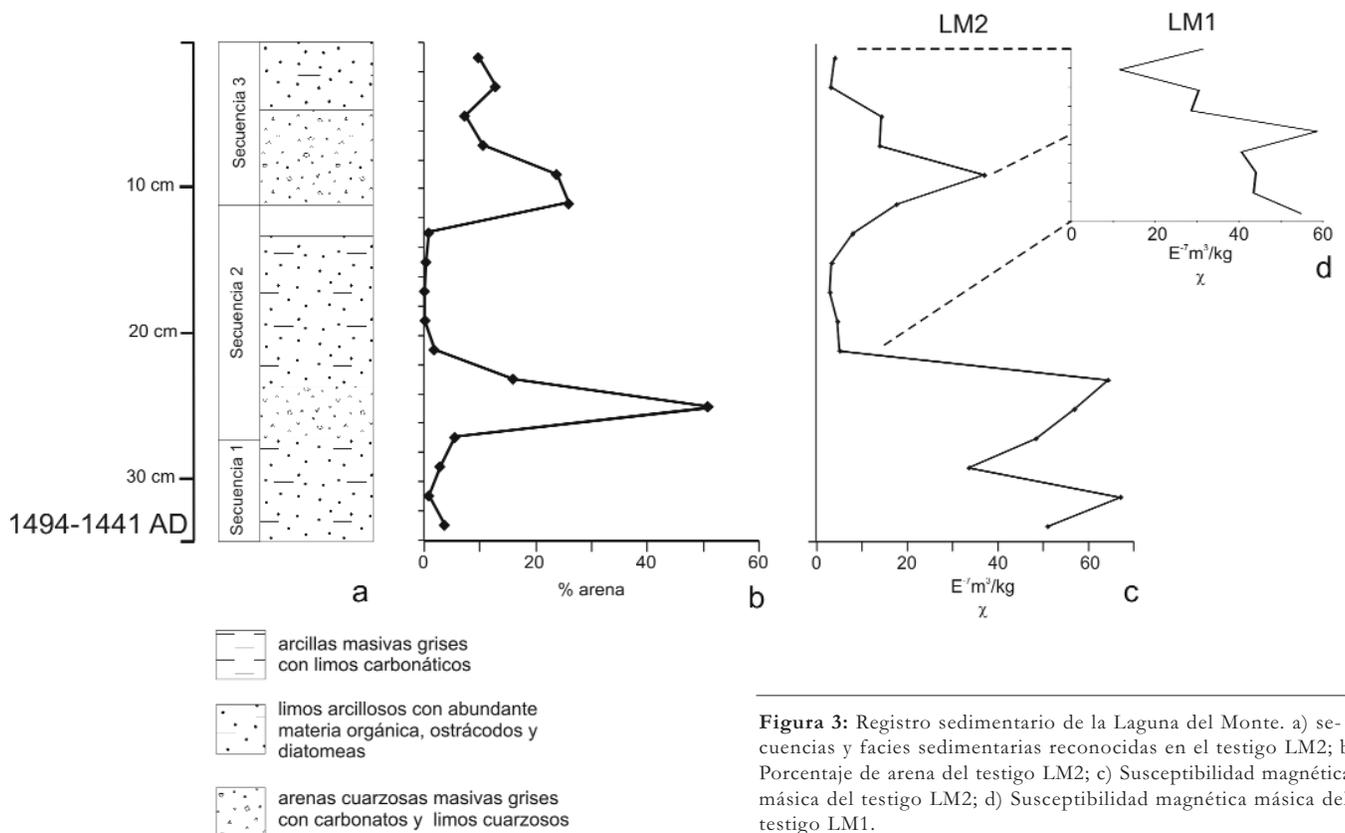
Por último, cabe destacar la presencia de capuchones cefálicos de quironómidos bien preservados, los que son particularmente abundantes en la sección media del testigo, donde están acompañados por semillas (Fig. 4a). Estos organismos fueron asignados en forma preliminar a *Chironomus anthracinus*.

## DISCUSIÓN

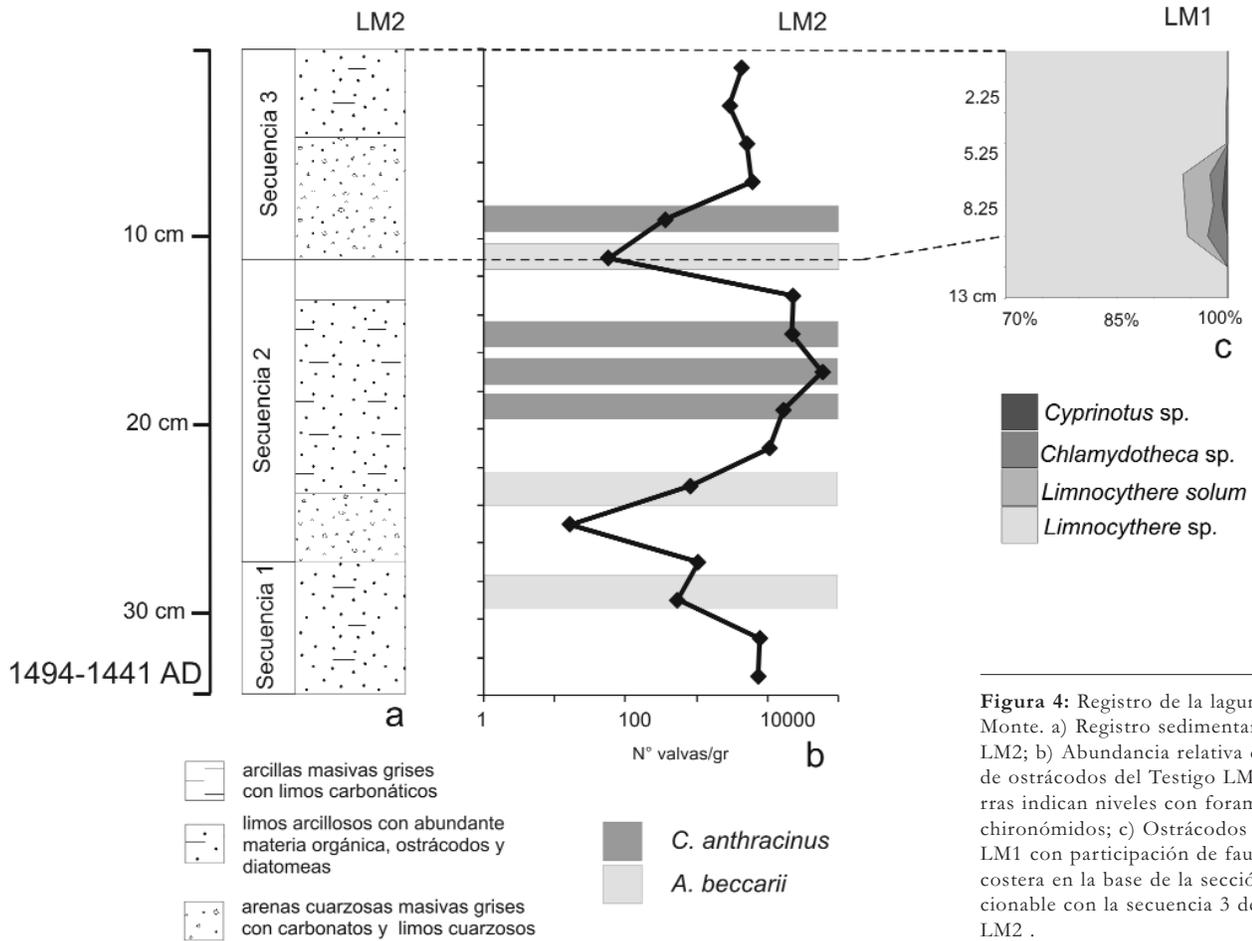
La interpretación de las secuencias descriptas se basa en el modelo de Digerfeldt (1986) para lagos abiertos, que considera que las secuencias granodecrecien-



**Figura 2:** Registro sedimentario de la laguna de Chascomús. a) secuencias y facies sedimentarias reconocidas en el testigo LCH1; b) Susceptibilidad magnética másica; c) Participación de *Cyprideis* y *Limnocythere* en el testigo LCH1; d) Participación de *Heterocypris similis* en el testigo LCH1.



**Figura 3:** Registro sedimentario de la Laguna del Monte. a) secuencias y facies sedimentarias reconocidas en el testigo LM2; b) Porcentaje de arena del testigo LM2; c) Susceptibilidad magnética másica del testigo LM2; d) Susceptibilidad magnética másica del testigo LM1.



**Figura 4:** Registro de la laguna del Monte. a) Registro sedimentario, testigo LM2; b) Abundancia relativa de valvas de ostrácodos del Testigo LM2. Las barras indican niveles con foraminíferos y chironómidos; c) Ostrácodos del testigo LM1 con participación de fauna más costera en la base de la sección correlacionable con la secuencia 3 del testigo LM2.

tes pueden ser interpretadas como secuencias de profundización. Esto es válido en particular en la laguna del Monte, en donde el incremento en el tamaño de grano, los mayores porcentajes de participación de arenas y la presencia de clastos de tosca acompañan los incrementos en los valores de susceptibilidad magnética (Fig. 3). La presencia de foraminíferos en torno a estos niveles arenosos (Fig. 4a) indicaría salinidades meso-polihalinas, las que son justificadas si consideramos que esos niveles coinciden con bajos niveles de la laguna que habrían favorecido la concentración evaporítica y el aumento de la salinidad. En la laguna de Chascomús, una laguna eutrófica a hipereutrófica, la mayor cantidad de materia orgánica diluye la señal magnética. No obstante, los valores del sector medio indican un mayor aporte clástico asociado a un escenario de aguas bajas. El registro de ostrácodos de la laguna de

Chascomús fue analizado en detalle por Laprida y Valero Garcés (2009), quienes establecen que la sucesión comienza con un cuerpo de aguas fuertemente alcalinas, desprovisto de vegetación, con condiciones disóxicas propias de un escenario de aguas altas. La dominancia de *Limnocythere* sp. aff. *L. staplini* en la base del testigo (Fig. 2) indica un proceso de fuerte alcalinización que se justifica considerando que en esos momentos el clima fue predominantemente húmedo, lo que habrían favorecido la recarga de los acuíferos que siempre se habrían mantenido cercanos a la superficie. La segunda secuencia, que de acuerdo al modelo de edades propuesto en Laprida y Valero Garcés (2009) se desarrolla entre 1700-1850 AD y que coincide con la LIA, muestra episodios de mayor aporte de material detrítico, un incremento del tamaño de grano y de la susceptibilidad magnética, todos ellos asociados a even-

tos de retracción del cuerpo de agua en escenarios de aguas bajas (Fig. 2). Las asociaciones de ostrácodos son *Cyprideis*-dominantes, indicando que se trata de un ambiente inestable con importantes fluctuaciones de salinidad y dominancia de fases secas. La presencia de biocenosis (asociaciones representativas de las poblaciones originales) de alta energía y las tanatocenosis (asociaciones modificadas por procesos tafonómicos pero aún así representativas de las poblaciones originales) de baja energía, podrían estar relacionadas con mortandades masivas bajo condiciones adversas y la frecuente removilización de los sedimentos del fondo asociada a vientos en momentos de sequía (Dangavs *et al.* 1996). En conclusión, durante el tiempo de deposición de la secuencia media, que correspondería a la LIA, la salinidad habría sido mayor como consecuencia de frecuentes eventos de déficit hídrico. Esta

interpretación coincide con Politis (1984), quien establece que durante la Pequeña Edad de Hielo, con fase principal durante el siglo 18, en la llanura pampeana habrían predominado climas fríos y secos. Esta situación es confirmada por archivos históricos, en donde se consigna que el siglo 18 y hasta mediados del siglo 19 la región pampeana soportó períodos particularmente secos (Deschamps *et al.* 2003).

Las asociaciones de ostrácodos de la secuencia superior del testigo son semejantes a las de la sección inferior, *Limnocythere*-dominantes, por lo que son interpretadas como momentos de aguas predominantemente altas. La creciente abundancia de *Heterocypris similis* hacia el techo del testigo indica un descenso de la conductividad e intercambios con biotopos temporarios vecinos como consecuencia de los frecuentes anegamientos e inundaciones (Fig. 2). En lo referente a la laguna del Monte, las asociaciones prácticamente monoespecíficas indicarían altas salinidades relacionadas a procesos de concentración evaporativa. En las bases de las secuencias grano-decrecientes, el número de individuos disminuye notablemente, mientras que los mayores valores se verifican en la sección media del testigo (Fig. 4). La menor proporción relativa de juveniles indica remoción diferencial o destrucción de los estadios larvales más frágiles asociado a una mayor dinámica sedimentaria. En el sector medio, la predominancia de granulometrías finas, el elevado número de valvas y caparzones de *Limnocythere* sp., los valores relativamente bajos de susceptibilidad magnética y el hallazgo de abundantes *Chironomus anthracinus* indican un escenario de aguas bajas durante el cual predominaron las condiciones eutróficas y anóxicas (Fig. 4). *Chironomus* es abundante en lagos eutróficos y es tolerante a bajas concentraciones de oxígeno, soportando incluso condiciones de anoxia por algunas semanas. Son oportunistas y toleran alta salinidad (Brooks *et al.* 2007, Massaferrero, com. pers.). Esta sección es correlacionable con la secuencia media del testigo de Chascomús y correspondería por lo tanto a la Pequeña Edad de Hielo. En esta sección

se verifican también episodios de mortandad en masa asociados a condiciones hipereutróficas e hipóxicas, relacionadas con frecuentes sequías.

En la base de la secuencia superior, la presencia de individuos de *Chlamydotheca* (?) sp. y *Limnocythere solum* (Whatley y Cholic) marca el inicio de una fase de aguas altas y frecuentes aportes fluviales, como lo indica el aumento de arenas y los mayores valores de susceptibilidad magnética (Fig. 3). Hacia el techo, la menor abundancia de *Chironomus anthracinus* estaría indicando condiciones menos eutróficas y niveles de la laguna relativamente más altos. El testigo LM1 sugiere una posición más litoral que el LM2. El techo de la secuencia inferior es correlacionable con la secuencia media del testigo LM2, ya que se verifica la presencia de valvas de *Cypridopsis vidua*, *Chlamydotheca* (?) sp. y *Limnocythere solum* (Fig. 4b), en coincidencia con un pico de susceptibilidad (Fig. 3d) que es interpretado como la base de la secuencia superior. La presencia de foraminíferos indicaría condiciones litorales asociadas a un escenario de aguas bajas y ambientes mesohalinos.

## CONCLUSIONES

- Conforme a los resultados obtenidos al presente en las lagunas del área analizada de la llanura pampeana, los registros obtenidos en testigos del fondo de las lagunas estudiadas son adecuados para el análisis de tendencias climáticas a mesoescala (decenas de años).
- La Pequeña Edad de Hielo en el área de estudio habría sido un período relativamente seco tanto en la pampa húmeda (Laguna de Chascomús) como en la pampa seca (Laguna del Monte). Durante este período, particularmente entre los siglos 18 y hasta mitad del 19, las frecuentes sequías habrían favorecido en las lagunas pampeanas condiciones de aguas relativamente bajas que afectaron los procesos físicos, sedimentológicos y biológicos.
- Debido a su complejidad y las características particulares de funcionamiento de las mismas, el estudio paleolimnológico de las lagunas pampeanas sólo puede ha-

cerse a partir de un estudio pluridisciplinar, considerando conjuntamente proxies biológicos, sedimentológicos y geofísicos.

## AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a la Universidad de Buenos Aires (UBACyT X219 y UBACyT EX455), al CONICET (PIP 5659/05 y PIP 5006/05) y a la ANPCyT (PICT 26094, PICT 382/07) por el apoyo económico brindado. El Departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires brindó la infraestructura que permitió la ejecución de la presente contribución.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Anadón, P. 1989. Los lagos salinos interiores (atálasicos) con faunas de afinidad marina del Cenozoico de la Península Ibérica. *Acta Geológica Hispánica* 24(2): 83-102.
- Bradley, R.S., Briffa, K.R., Cole, J.E., Hughes, M.K. y Osborn, T.J. 2003. The climate of the last millennium. En Alverson, K.D., Bradley, R.S. y Pedersen, T.F. (eds.) *Paleoclimate, Global Change and the Future*, Springer: 105-141, Berlin.
- Brooks, S.J., Langdon, P.G. y Heiri, O. 2007. The identification and use of Palaearctic Chironomidae larvae in palaeoecology. *Quaternary Research Association, Technical Guide* 10, 276 p, London.
- Cioccale, M.A. 1999. Climatic fluctuations in the Central Region of Argentina in the last 1000 years. *Quaternary International* 62: 35-47.
- Conzonno V. H. y Claverie, E. 1990. Chemical characteristics of the water of Chascomús pond (Provincia de Buenos Aires, Argentina). *Limnological implications. Revista Brasileira Biologia* 50: 15-21.
- Conzonno, V. y Fernández Cirelli, A. 1987. Soluble humic substances from the affluents of Lake Chascomús (Argentina). *Archiv für Hydrobiologie* 109: 305-314.
- Conzonno, V., Miretzky, P. y Fernández Cirelli, A. 2001. The impact of man-made hydrology on the lower stream bed of the Salado River drainage basin (Argentina). *Environmental Geology* 40: 968-972.

- Cordini, I. R. 1938. La laguna de Chascomús (provincia de Buenos Aires). Contribución a su estudio limnológico. Ministerio de Agricultura de la Nación. Dirección de Minas y Geología, Boletín 44, 33 p.
- Crowley T.J. 2000. Causes of climate change over the past 1000 years. *Science* 289: 270; DOI: 10.1126/science.289.5477.270.
- Dangavs, N. 1976. Descripción sistemática de los parámetros morfométricos considerados en lagunas pampásicas. *Limnobiós* 1: 25-39.
- Dangavs, N.V., Blasi, A.M. y Merlo, D.O. 1996. Geolimnología de la Laguna de Chacomús, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista del Museo de La Plata, nueva serie, Geología* 9: 167-195.
- Dangavs, N.D., Merlo, D.O. y Mormeneo, M.L. 2006. Geolimnología de los cuerpos lénticos de la cuenca del arroyo "La Vigilancia", Chascomús, Provincia de Buenos Aires. *Revista del Museo de La Plata, nueva serie, Geología* 12: 1-29.
- Denton, G.H. y Karlén, W. 1973. Holocene climatic variations - their patterns and possible causes. *Quaternary Research* 3: 155-205.
- Deschamps, J. R., Otero, O. y Tonni, E. P. 2003. Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones de los siglos 18 al 20. Documentos de Trabajo 109. Departamento de Investigación. Universidad de Belgrano, 18 p.
- Digerfeldt, G. 1986. Studies on past lake-level fluctuations. En: B.E. Berglund (ed.), *Handbook of Holocene Paleohydrology*. Wiley, 127-143.
- Durant, W. 1991. *The story of Phylo-sophy*. Simon and Schuster, 528p., New York.
- Fernández Cirelli, A. y Miretzky, P. 2004. Ionic relations: a tool for studying hydrogeochemical processes in Pampean shallow lakes (Buenos Aires, Argentina). *Quaternary International* 114: 113-121.
- Frenguelli, J. 1950. Rasgos generales de la morfología y de la geología de la provincia de Buenos Aires. M.O.P. (Bs.As.). Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica, Serie 2, 30, 72 p., La Plata.
- Glasser, N.F., Hambrey, M.J. y Aniya, M. 2002. An advance of Soler Glacier, North Patagonian Icefield, at c. AD 1222-1342. *The Holocene* 12: 113-120.
- Laprida, C. 2006. Ostrácodos recientes de la llanura pampeana, Buenos Aires, Argentina: ecología e implicancias paleolimnológicas. *Ameghiniana* 43: 181-204.
- Laprida, C. y Valero Garcés, B. 2009. Cambios ambientales de épocas históricas en la pampa bonaerense en base a ostrácodos: historia hidrológica de la laguna de Chascomús. *Ameghiniana* 46(1): 95-111.
- Miretzky, P., Herrero, M., Galindo, G. y Fernández Cirelli, A. 1998. Caracterización de los recursos hídricos en la zona del sistema de las lagunas encadenadas de Chascomús, Provincia de Buenos Aires. *Estudios Preliminares. Revista de la Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* 12: 85-100.
- Miretzky, P.S. 2001. Procesos geoquímicos en la cuenca baja del Río Salado, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires, (inédito) 383 p.
- Moncault, J.A. 2001. Inundaciones y sequías en la pampa bonaerense 1576-2000. Editorial El Aljibe, 106 p.
- Oldfield, F. y Alverson, K.D. 2003. The Societal Relevance of Palaeoenvironmental Research. En Alverson, K.D., Bradley, R.S. y Pedersen, T.F. (eds.) *Paleoclimate, Global Change and the Future*. Springer Verlag: 1-11.
- Pardiñas, U.F.J. y Tonni, E.P. 2000. A giant vampire (Mammalia, Chiroptera) in the Late Holocene from the Argentinean pampas: paleoenvironmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160: 213-221.
- Piovano, E.L., Ariztegui, D. y Damatto Moreira, S. 2002. Recent environmental changes in Laguna Mar Chiquita (central Argentina): a sedimentary model for a highly variable saline lake. *Sedimentology* 49(6): 1371-1384.
- Piovano, E.L., Zanol, G.A. y Ariztegui, D. 2006. Historia geológica y registro climático. En: E.H. Bucher (ed.): *Bañados del Río Dulce y laguna Mar Chiquita* Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, 327 p.
- Politis, G.G. 1984. Climatic variations during historical times in eastern Buenos Aires pampas, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 2: 133-161.
- Quirós R. 1988. Relationships between air temperature, depth, nutrients and chlorophyll in 103 Argentinian lakes. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 23: 647-658.
- Ringuet, R. A. 1962. *Ecología acuática continental*. Eudeba, 138 p.
- Sala, J.M. 1975. Recursos hídricos (especial mención de las aguas subterráneas). En Angelelli, V. *et al.* (eds.), *Geología de la provincia de Buenos Aires, 6° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 169-194*.
- Sellés Martínez, J. 1985. *Pericia Geológica. Autos: Alzaga de Lanusse M.J. y otros c/ Buenos Aires Prov. De S/ daños y perjuicios (informe inédito)*, 55 p., Buenos Aires.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G.S., Hughen, K.A., Kromer, B., Mc Cormac, G., van der Plicht, J. y Spurk, M. 1998. Intcal98 radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon* 40: 1041-1083.
- Tonni, E.P., Cione, A.L. y Figini, A. J. 1999. Predominance of arid climates indicated by mammals in the pampas of Argentina during the Late Pleistocene and Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 147: 257-281.
- Toresani, N.I., López H.L. y Gómez, S.E. 1994. *Lagunas de la Provincia de Buenos Aires*. Ministerio de la Producción de la Provincia de Buenos Aires. 128 p.
- Van Eerden, M.R. y Ledesma, C.W. 1994. *The Lagunas Encadenadas del Oeste: Pearls of the Pampas. Ecological Aspects of Flood Control Alternatives for the Lagunas Encadenadas*. Ministry of Transport, Public, Works and Water Management Directorate, 53 p., Flevoland.
- Villalba, R. 1990. Climatic fluctuations in northern Patagonia during the last 1000 years as inferred from tree-ring records. *Quaternary Research* 34: 346-360.
- Wanner, H., Beer, J., Bütikofer, J., Crowley, T.J., Cubasch, U., Flückiger, J., Goosse, H., Grosjean, M., Joos, F., Kaplan, J.E., Küttel, M., Müller, S.A., Prentice, I.C., Solomina, O., Stocker, T.F., Tarasov, P., Wagner, M. y Widmannmet, M. 2008. Mid- to Late Holocene climatic change: an overview. *Quaternary Science Reviews* 27: 1791-1828.

Recibido: 17 de enero, 2009

Aceptado: 29 de octubre, 2009