

CICLICIDAD DE LOS DEPÓSITOS GLACILACUSTRES DEL CERRO RIGAL, EPUYÉN, NOROESTE DE CHUBUT

Federico Ignacio ISLA¹ y Marcela ESPINOSA¹

¹ Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata, Emails: fisla@mdp.edu.ar, maespin@mdp.edu.ar

RESUMEN

Los lagos son trampas de sedimento y por lo tanto registran las variaciones climáticas del pasado. Los lagos de origen glacial sólo pueden dar información de los intervalos en que estuvieron libres de hielo (interglaciales). A su vez, los estudios paleoclimáticos basados en ciclos (varves) requieren conocer si los procesos representados obedecen sólo a cambios anuales (ciclos verano-invierno) o si también representan ciclos de mayor escala temporal (interanuales). Estos registros sedimentarios pueden tener tendencias (avances, retrocesos, capturas glaciares) o efectos locales (vulcanismo, derrumbe de laderas) o episódicos (*jokullhaupts*, *scablands*). Dinámicamente los lagos glaciales se diferencian de acuerdo al grado de estratificación de las capas superficiales durante el verano (monomícticos, dimícticos, polimícticos). En la secuencia pleistocénica del Cerro Rigal (NO de Chubut) se han reconocido eventos interanuales registrados tanto en la diferencia de espesor de los depósitos como en la diferencia estacional de sus granulometrías. La periodicidad de esta secuencia está corroborando que los efectos ENSO registrados en los lagos andino-patagónicos también se produjeron durante el Cuaternario.

Palabras clave: *Ciclicidad, Lagos glaciales, Patagonia, Efectos ENSO.*

ABSTRACT: *Cyclicity of glaciolacustrine deposits from Cerro Rigal, Epuén, NW Chubut, Argentina.*

Lakes are sediment traps and therefore they record past climate variations. Glacial lakes only give information of those periods where they were free of ice (interglacials). At the same time, paleoclimatic studies based on cycles (varves) need to know if processes respond only to annual changes (summer-winter seasonality) or if they are also representing cycles of a longer temporal scale (interannual). These sedimentary records can represent trends (glacial advances, retreats or captures), local effects (volcanism, gravity-dominated phenomena) or episodes (*jokullhaupts*, *scablands*). According to their dynamics, glacial lakes vary in relation to the summer stratification of the surface waters (monomictic, dimictic or polymictic lakes). In the Pleistocene sequence of the Cerro Rigal (Northwest Chubut) interannual events were recorded in the difference of the varves thickness and the seasonal variations in grain size. The cyclicity of this sequence is confirming that these ENSO effects recorded today in the Patagonian Andean lakes have also taken place during the Quaternary.

Keywords: *Cyclicity, glacial lakes, Patagonia, ENSO effects.*

INTRODUCCIÓN

Los lagos son considerados ambientes particularmente sensibles a variaciones hidroclimáticas, hidroquímicas y biológicas. Al mismo tiempo, registran de un modo bastante preciso estas variaciones pudiéndose discriminar efectos anuales y estacionales a través de los varves. Los proyectos internacionales (globales) se han interesado por los lagos de Sudamérica procurando estudiar sus comportamientos en el pasado a través de sus registros sedimentarios (*Global Lake Drilling Program*, GLAD800) o analizando los impactos humanos en estos ecosistemas

relativamente cerrados (*Human Impacts on Lake Ecosystems*, LIMPACS; Battarbee 2000). Si bien estos programas internacionales están orientados al registro sedimentario, no pueden basarse en conocimientos acabados de la dinámica de los lagos andino-patagónicos que mantienen incógnitas. De todos modos, estos proyectos contemplan comparaciones con otros lagos de América (PEP I), África (PEP III) o de Europa (*European Lake Drilling Programme*). Los estudios paleolimnológicos parten del supuesto erróneo de que todos los lagos tienen un comportamiento aproximadamente similar y regular. Investigaciones recientes indican

que los eventos ENSO - particular y episódicamente críticos en Sudamérica - también afectan los lagos ya sea directamente en su dinámica o en el balance anual de aguas aportadas por glaciares o ríos (Depetris y Pasquini 2001, Villarrosa *et al.* 2002).

Los lagos andinos se ubican al pie de la Cordillera de los Andes desde latitudes de 38° hasta 55' S y se originaron principalmente como resultado de la excavación glacial pleistocena, la depositación de morenas terminales y el consecuente retroceso (o derretimiento total) de los glaciares de origen. Este esquema sencillo, sin embargo, no es aplicable a todos

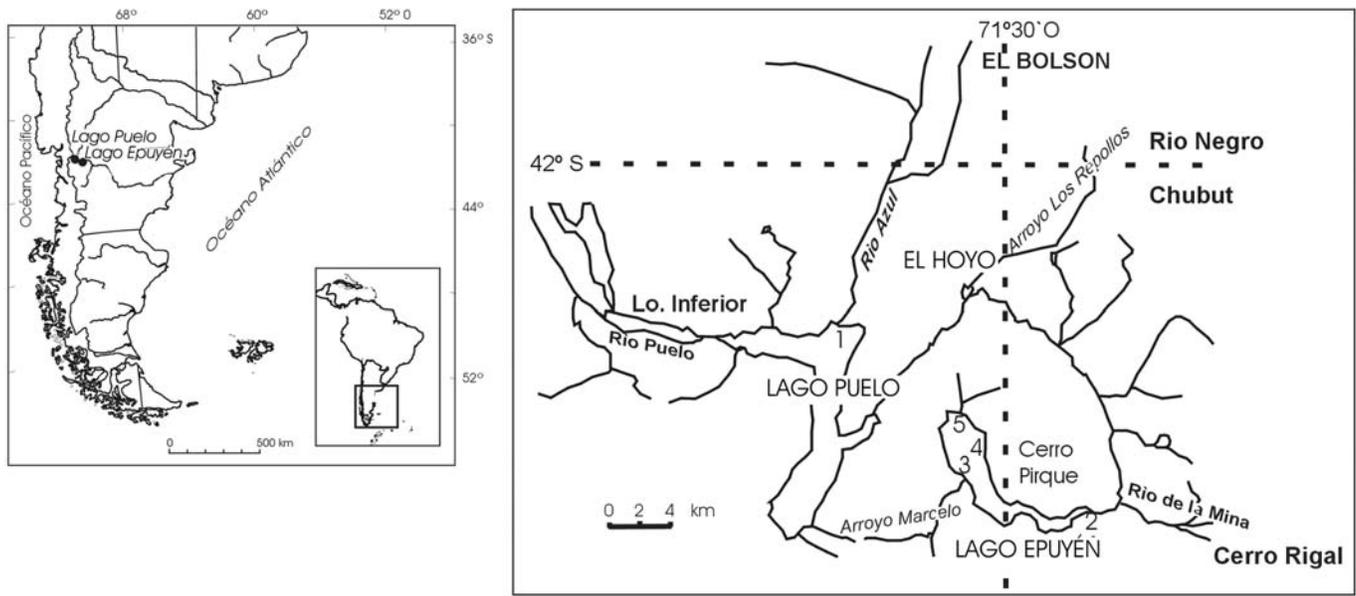


Figura 1: Ubicación de los sitios de muestreo en los lagos Puelo, Epuyén y del Cerro Rigal. 1. Desembocadura del Río Azul. 2. Pueblo de Epuyén. 3. Desembocadura del Arroyo Marcelo. 4. Centro del Lago. 5: Puerto Patriada.

los lagos debido a que existen diferencias geológicas, climáticas y dinámicas (dinámica glacial, fluvial o lacustre). Algunos de estos lagos poseen actividad volcánica que afecta significativamente su dinámica (Caviahue, Villarrica). Otros drenan cuencas dominadas por rocas plutónicas o volcánicas, resistentes a la erosión, o sedimentarias, más fácilmente deleznable. Existen lagos que pertenecen a cuencas especialmente secas y otros a cuencas muy lluviosas. Algunos lagos son pequeños, de *fetch* (distancia sobre la que sopla el viento para generar olas) limitado; otros son alargados en el sentido de los vientos dominantes del oeste (Lácar). Muchos lagos se mantienen en su estado prístino oligotrófico (y dentro de parques nacionales) mientras que otros están siendo afectados por actividades humanas (Villarrica). Algunos son pequeños lagos de altura, otros son complejos con brazos de diferente grado de alteración por actividades humanas (lago Nahuel Huapi). En su dinámica hay procesos diferentes y muchas veces no comprendidos. Por ejemplo, los lagos ácidos asociados al complejo volcánico de Neuquén (Caviahue) tienen una dinámica muy particular que no es totalmente conocida, ni en superficie ni en profundidad. Algunos

de estos cuerpos de agua se disponen en valles de laderas pronunciadas y con una orientación tal que los efectos de los vientos del oeste le asignan una dinámica dominada por *seiches* (variaciones localizadas del nivel del lago ocasionadas por el viento o lagos correntosos). Otros lagos ocupan valles controlados por fallas geológicas que le confieren dimensiones tan grandes que los vientos le imparten una dinámica dominada por olas que controlan la termoclina de verano. Los procesos de formación y desplazamiento de esta termoclina son los principales reguladores de la actividad química y biológica de estos cuerpos de agua (Quirós y Drago 1985, Lemmin y Mortimer 1986). En cuanto a la sedimentología de estos lagos en el pasado, los depósitos glacialacustres de las proximidades del lago Fagnano, Tierra del Fuego, han sido analizados en detalle (Bujalesky *et al.* 1997).

El presente trabajo describe e interpreta los depósitos que se han preservado en el Cerro Rigal (Epuyén, Chubut; Figs. 1 y 2) que fueran descritos por Caldenius (1932). Estos depósitos fueron acumulados en un lago de grandes dimensiones y a una cota superior a los de la región; lo denominaremos paleolago El Maitén. Se efectuó un análisis estadístico de esta se-

cuencia de varves con el objeto de reconocer la incidencia de efectos cíclicos en su evolución. Para la interpretación de esta secuencia, resultó indispensable conocer la dinámica de los lagos actuales de la región y en ese sentido se muestrearon los lagos Epuyén y Puelo. Las mediciones comprendieron los diferentes parámetros que les infieren características diferentes, entre ellos, temperatura, pH, turbidez y oxígeno disuelto.

CARACTERÍSTICAS DE LOS LAGOS EPUYÉN Y PUELO

En relación con la productividad primaria se distinguen lagos de baja productividad donde existe una significativa profundidad hasta donde se distingue del disco de Secchi (oligotróficos; $< 30 \text{ g C / m}^2/\text{año}$; profundidad de disco Secchi $> 5 \text{ m}$), de productividad intermedia (mesotróficos; $25\text{-}60 \text{ g C / m}^2/\text{año}$; disco Secchi entre 3 y 6 m), alta productividad (eutróficos; $40\text{-}200 \text{ g C / m}^2/\text{año}$; disco Secchi entre 1 y 4 m) y muy alta producción (hipertroficados; $130\text{-}600 \text{ g C / m}^2/\text{año}$; la turbidez impide ver el disco Secchi a menos de 2 m; Hakanson y Jansson 1995). De acuerdo a esta clasificación los lagos andino-patagónicos son en su ma-

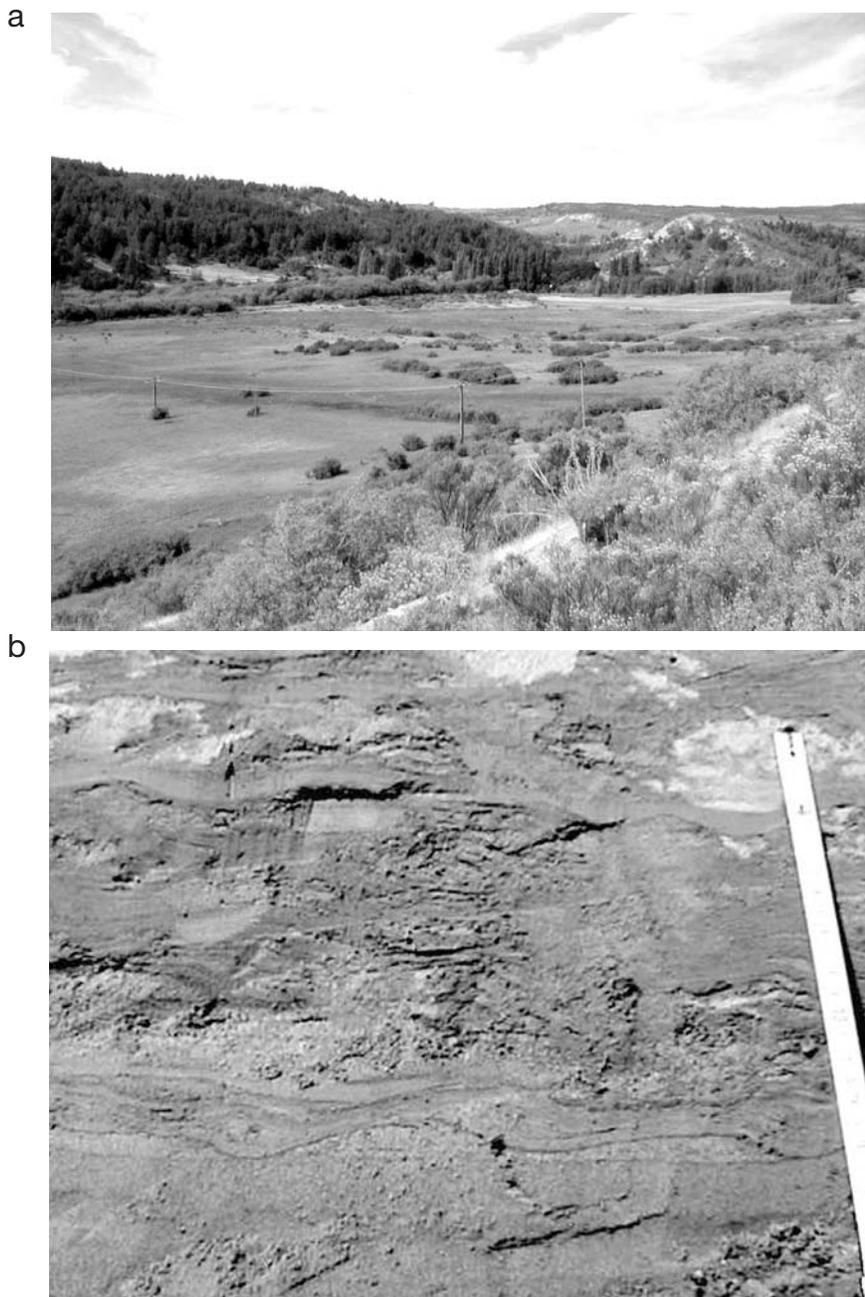


Figura 2: a) Fotografía del cerro Rigal desde la ruta de Epuyén a Esquel. b) Detalle de los varves muestreados.

yoría oligotróficos, aunque localmente los muy impactados pueden tener comportamiento mesotrófico y hasta eutrófico en algunos sectores.

En relación a la temperatura se distinguen:

- 1) Amícticos: siempre congelados; normalmente en latitudes mayores a 80° (al nivel del mar);
- 2) Monomícticos fríos: nunca adquieren

temperaturas superiores a 4°C , donde el agua circula sólo durante el verano;

- 3) Dimícticos: el agua circula dos veces al año (primavera y otoño); se estratifican directamente (superficie cálida) durante el verano e inversamente (superficie fría) durante el invierno. Se ubican entre latitudes de $40\text{-}60^\circ$ al nivel del mar;
- 4) Monomícticos cálidos: el agua también circula sólo una vez al año pero nunca

baja de 4°C . Son típicos de áreas templadas y montañosas de zonas subtropicales, o áreas influenciadas por climas oceánicos;

5) Polimícticos: tienen circulación inducida por vientos cambiantes, variaciones de temperatura y leve estacionalidad; y

6) Oligomícticos: caracterizan áreas tropicales de circulación irregular.

De acuerdo a esta clasificación térmica (Hakanson y Jansson 1995), los lagos del norte de la Patagonia por latitud y altitud se consideran como dimícticos, aunque la estratificación estival no se da en todos los lagos de la misma manera por las causas ya explicadas. La zona de cambio térmico se conoce como termoclina, prefiriéndose el término metalimnion para la zona donde se producen estos cambios en profundidad (Hakanson y Jansson 1995).

Particularmente, el lago Epuyén ($42^\circ11'\text{S}$, $71^\circ30'\text{O}$; 250 m s.n.m; Cuadro 1; Fig. 1) ocupa hoy una cubeta alargada de oeste a este. Su cuenca está caracterizada por la ausencia actual de glaciares y por permanecer poco habitada. Su elevada transparencia, superior a 20 m, junto con los datos disponibles de dos monitoreos realizados en el verano de 1984 (Quirós 1988) y en marzo de 1991 (Pizzolón 1991 en www.hidricosargentina.gov.ar/Indice-Epuyen.html) sugieren que se trata de un ambiente ultraoligotrófico. El extremo norte del lago se utiliza con fines recreativos (Puerto Patriada) como centro de pesca deportiva; en el extremo sureste funciona un aserradero. En la cuenca afloran rocas plutónicas (Tonalita del Platero; Cazau 1980) y volcánicas de la serie andesítica de la Formación Ventana. Los depósitos glacialcústres cuaternarios descritos por Caldenius (1932) atestiguan la presencia de un lago de mayores dimensiones y a mayor altura (Paleolago El Maitén).

El lago Puelo ($42^\circ10'\text{S}$, $71^\circ40'\text{O}$; Cuadro 1; Fig. 1), es una versión pequeña y a menor cota (150 m s.n.m) de lo que fue el paleolago El Maitén. Ocupa hoy una cubeta de origen fluvio-glacial de 180 m de profundidad, enclavada en un valle en

forma de "L", con actual desagüe hacia Chile. Sus tres afluentes principales son los ríos Turbio, Epuyén (del lago Epuyén) y Azul. El río Epuyén tiene un módulo de 15,18 m³/seg con crecidas estacionales en agosto y noviembre; el río Azul tiene un módulo de 24,38 m³/seg con crecidas en junio y noviembre (EVARSA 2004). La cuenca drena rocas plutónicas, volcánicas de la Formación Ventana, y esquistos y areniscas levemente metamórficas de la Formación Piltriquitrón. Las precipitaciones van desde los 500 mm en el borde oriental de la cuenca hasta los 3.000 en el límite binacional. Las laderas se encuentran cubiertas por lenga, y más abajo, ciprés, coihúe y ñire. Las laderas del este están muy afectadas por un incendio ocurrido en 1987. El lago drena una cuenca con 22.350 habitantes, con alto índice de crecimiento demográfico y con más de 20.000 turistas durante el verano (El Bolsón, Lago Puelo, El Hoyo). El lago se encuentra dentro del Parque Nacional Lago Puelo, y existe un Parque Municipal Solar en la desembocadura del río Epuyén cuyo objeto es proteger el bosque de "pitras" (pataguas, *Myrceogenia* sp.). No obstante el relativamente rápido recambio de sus aguas (Cuadro 1) ha evidenciado signos de eutrofización local, lo que determinó la construcción de la planta depuradora de líquidos cloacales en la localidad de El Bolsón. La zona fótica se extiende en promedio hasta los 25 m. La termoclina fue ubicada a 37 m hacia fines del verano (Quirós y Drago 1985), profundidad que varía en distintos sectores del lago. Los valores de nutrientes y clorofila indican un estado de oligotrofia. Se muestreó en la ribera norte, cerca de la desembocadura del río Azul.

Estadísticas climáticas de la región ya han reconocido la variabilidad interanual en las temperaturas y las precipitaciones. Las mayores temperaturas estacionales se habrían registrado en 1943 con extendidos períodos cálidos entre 1950 y principios de los 60, y entre finales de los 70 a los 90 (Masiokas *et al.* 2007). Períodos con temperaturas por debajo de la tendencia de

aumento del siglo XX ocurrieron entre 1910 y principios de los 40, y durante los años 70. Entre 1912 y 2002 la tendencia general es a aumentar la temperatura y disminución de las precipitaciones (Masiokas *et al.* 2007).

MÉTODOS

Los trabajos comprendieron tareas de campo, gabinete y laboratorio.

En el cerro Rigal (42°09'25"S, 71°31' 55" O; Fig. 1), se midieron los espesores de los varves de la porción superior al tiempo que se muestreaban los pares (verano-invierno) que se consideraron más representativos. Con el objeto de analizar la recurrencia de eventos climáticos en estas secuencias glacialacustres se efectuó un estudio estadístico de autocorrelación. No se consideraron en la prueba los nueve últimos varves (anormalmente gruesos), que se fueron espesando hacia la morena de fondo superior (Caldenius 1932, p. 23). Para estos fines se utilizó el comando PACF (*partial autocorrelation*) del módulo series del paquete estadístico SYSTAT (Wilkinson 1986) previo suavizado (*smooth*) de los datos originales con el objeto de eliminar el ruido metodológico surgido principalmente de la medición de espesores de los varves. La autocorrelación parcial es la prueba estadística sugerida cuando no se tiene referencia de ciclicidad alguna (Wilkinson 1986).

Para caracterizar los lagos vecinos de Epuyén y Puelo, se realizaron perfiles de calidad de aguas mediante el analizador Horiba U-10 (Horiba 1991) durante los meses enero de 2003 y 2004, y febrero 2005. Cada dato fue obtenido a intervalos de 2 m en sectores donde la profundidad del lago excedía los 28 m de largo que tiene el analizador de agua. Los registros de temperatura se tomaron a través de un termistor que utiliza las cargas eléctricas para corregir el pH, la conductividad y la salinidad. La conductividad y la salinidad se miden a través de la corriente eléctrica entre dos electrodos según las propiedades del medio. El sensor de oxígeno disuelto (OD) opera también

CUADRO 1: Características morfológicas de los lagos glaciares Puelo y Epuyén*

	EPUYEN	PUELO
Altura (m.s.n.m)	250	150
Superficie (km ²)	17,4	44
Volumen (hm ³)	1608	4902
Prof. max (m)	148	180
Prof. media (m)	92,4	111,4
Perímetro (km)	33	57
Tiempo resid. (años)	3,6	1
Área cuenca (km ²)	506	3040
Prof. Disco Secchi (m)	19	7
Clorofila (mg/m ³)	0,16	0,23
Fecha perfil	18/1/04	19/1/03

*) (modificado de Quirós 1988).

CUADRO 2: Rangos y precisiones de los sensores del analizador Horiba U-10 10.

Parámetro	Rango	Precisión	Unidades
pH	0-14	0,01	adimensional
Conductividad	0-1	0,001	MS/cm
Turbidez	0-800	1	NTU
Oxígeno disuelto	0-19,9	0,1	mg/l
Temperatura	0-50	0,1	°C
Salinidad	0-4	0,1	%

según la carga transmitida entre un cátodo de plata y un ánodo de plomo inmersos en una solución electrolítica alcalina (Cuadro 2). La difusión del O₂ a través de una membrana permeable provoca una reacción en el cátodo que origina la corriente eléctrica proporcional a la cantidad de O₂ difundido a través de la membrana. Además, las mediciones de OD son corregidas de acuerdo a la salinidad. El nefelómetro (0-800 unidades nefelométricas de turbidez) mide la turbidez de acuerdo a la atenuación de la luz emitida por un diodo infrarrojo. Este sensor mide tanto la luz atenuada entre el diodo emisor y el sensor, así como la luz refractada por el medio a otro sensor ubicado según un ángulo de 30 grados. Esta modificación permite medir valores de turbidez independientemente de las propiedades ópticas de la sustancia causante de la atenuación.

Las muestras de sedimento fueron tamizadas (cada 0,5 unidades phi) y pipeteadas (cada 1 intervalo phi). Se graficaron las curvas de distribución para obtener

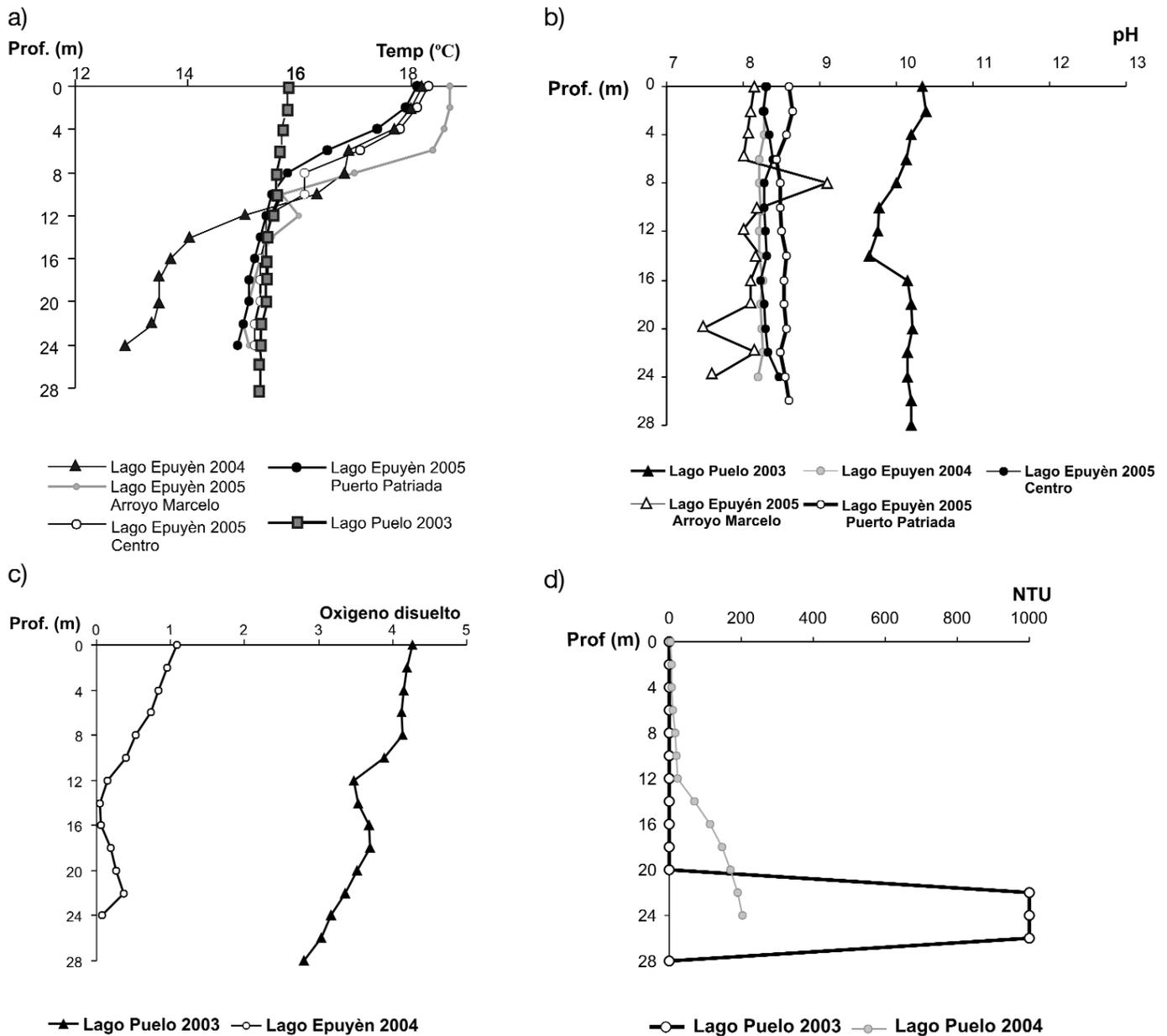


Figura 3: a) Variaciones de la temperatura (en °C) en relación de la profundidad (en m). b) Variaciones del pH en profundidad (m). c) Variaciones de la turbidez (en NTU) en razón de la profundidad (m). d) Variaciones del oxígeno disuelto (OD) (en mg/l) en profundidad (m).

los parámetros granulométricos sugeridos por Folk y Ward (1957).

RESULTADOS

Dinámica de los lagos Epuyén y Puelo

El muestreo del lago Puelo se realizó en el año 2003 frente a la desembocadura del río Azul (Fig. 1). El muestreo del lago Epuyén del año 2004 se ejecutó frente al pueblo homónimo. Los muestreos de ese lago del año 2005 se registraron frente al

arroyo Marcelo (también llamado Alto Epuyén; 42°11'25"S, 71°31'20"O), en el centro del lago (42°10'32"S, 71°31'29"O) y en las proximidades de Puerto Patriada (42°09'00"S, 71°31'50"O; Fig. 1).

De acuerdo a mediciones hechas en los veranos de 2003, 2004 y 2005, el lago Epuyén se estratifica a los 9 m; superficialmente su temperatura es de 18 °C y en profundidad llega a valores de 13 °C. Similares valores se han obtenido entre los muestreos de 2004 y 2005; y entre dife-

rentes sectores del lago (Fig. 3a). El pH se mantuvo uniforme en profundidad, variando mayormente (entre 7,5 y 8,5) en los diferentes lugares que se midió (Fig. 3b). No se registró turbidez en los primeros 12 m (muestreo al E del lago) aumentando paulatina y levemente a valores máximos de 200 unidades nefelométricas en los 24 m.

Las mediciones realizadas en el Lago Puelo, más específicamente en la desembocadura del río Azul, indican que las

aguas se mantienen uniformes entre 15 y 16 °C al menos en los primeros 28 m (Fig. 3a). El pH también se mantuvo estable próximo a 10, y el OD en valores de 6 mg/l. No obstante, esta estabilidad aparente en la temperatura, OD y pH, en la boca del arroyo Azul se identificó una pluma de turbidez entre los 21 y 26 m de profundidad (Fig. 3 d).

Ciclicidad de la secuencia glacialacustre del cerro Rigal

Los depósitos glacialacustres cuaternarios de Patagonia se corresponden con períodos interglaciales emplazados entre depósitos glaciares (Caldenius 1932, p. 22). En noviembre de 1925, C. Caldenius, A. Cordini y J. Guñazú midieron 140 varves arenosas entre dos depósitos de morenas de fondo en el cerro Rigal (Fig. 2a), al este de las casas de la mina de Epuyén, en una cresta entre los valles de los arroyos del Carbón y Coihue (Caldenius 1932, p. 21). La secuencia es aproximadamente regular haciéndose los varves más espesos (hasta 2,25 m) hacia la morena de fondo superior. Los varves 21 y 89 son anormalmente espesos (0,71 y 1,89 m) como consecuencia de algún fenómeno catastrófico. En el parecer de Caldenius, esto habría sido debido a la rotura de un lago glacial local ubicado a mayor altura (en términos actuales, un *scabland*) o tal vez los efectos de algún río glacial logrando desembocar en el lago entre morenas. Esta secuencia graficada por Caldenius (1932; Fig. 9) fue llevada a valores numéricos y analizada estadísticamente. Utilizando una suavización previa y una autocorrelación parcial tuvo una recurrencia de valores de 4 y 7 años como estadísticamente significativos (Fig. 4). Esto indica que en los 130 años de registro sedimentario (sin discordancias) hubo una recurrencia interanual significativa cada 4 y 7 años que es aproximadamente la recurrencia aceptada para la ciclicidad de los eventos ENSO (El Niño - *Southern oscillation*).

Granulometría de los varves

Los muestreos del cerro Rigal permitie-

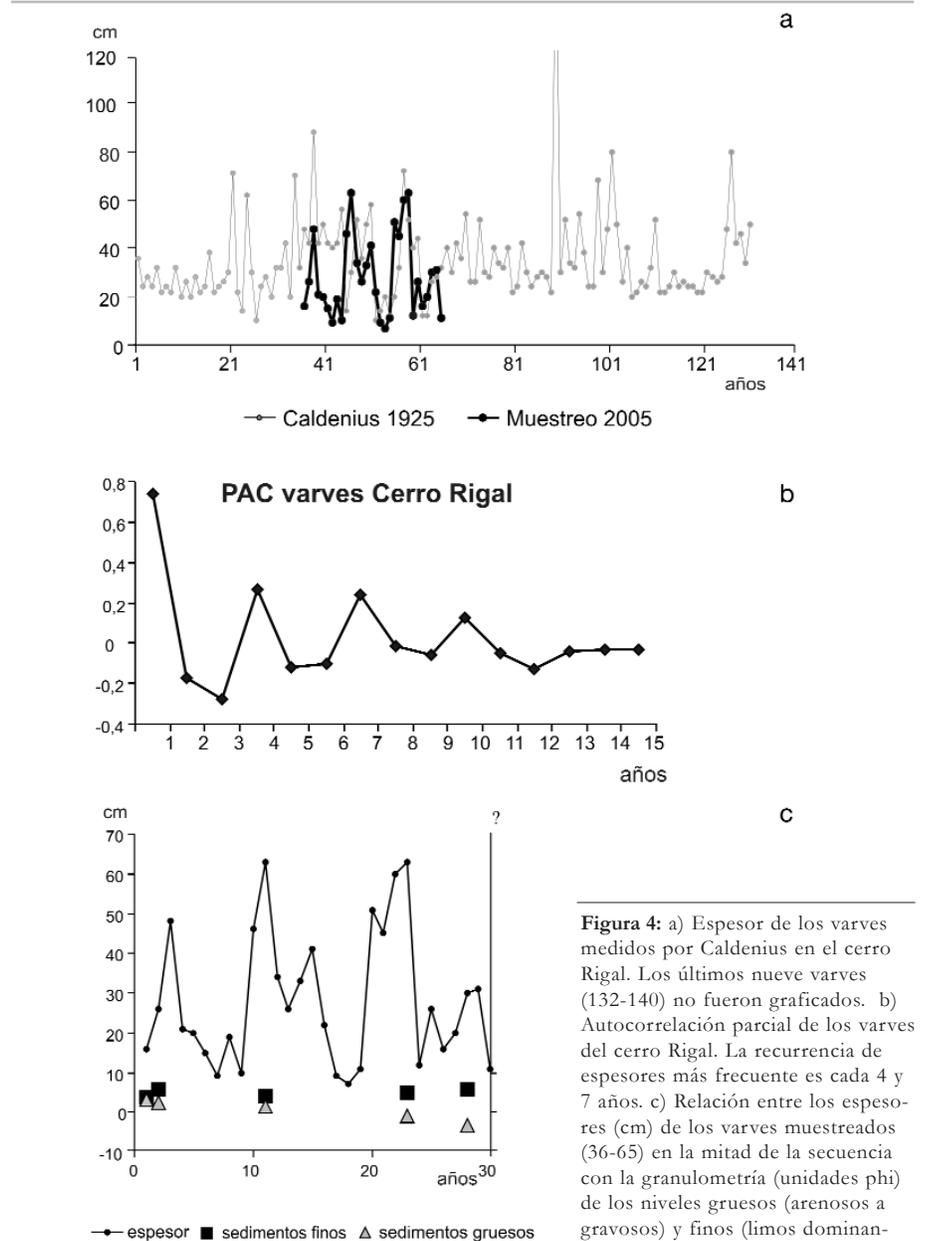


Figura 4: a) Espesor de los varves medidos por Caldenius en el cerro Rigal. Los últimos nueve varves (132-140) no fueron graficados. b) Autocorrelación parcial de los varves del cerro Rigal. La recurrencia de espesores más frecuente es cada 4 y 7 años. c) Relación entre los espesores (cm) de los varves muestreados (36-65) en la mitad de la secuencia con la granulometría (unidades phi) de los niveles gruesos (arenosos a gravosos) y finos (limos dominantes).

ron reconocer la alternancia de limos de coloraciones grises de invierno, y arenas-gravas de verano de coloraciones más claras (Fig. 2 b). Se reconocieron óndulas de oscilación y niveles con estratificación intraplegada (en los varves más espesos). En el intervalo muestreado (varves 36 a 65 de la secuencia de Caldenius) los niveles finos son mayormente limos gruesos (2,87 a 5,67 unidades phi; Fig. 4 c). Los niveles gruesos en cambio, varían entre grava (-3,17 phi) en la base, a arena fina (2,97 phi) hacia el tope. Las distribuciones variaron entre moderada y muy

pobremente seleccionadas; en general las granulometrías gruesas son más seleccionadas que sus contrapartes finas, sugiriendo un aporte más fluido durante el verano (fluvial) que durante el invierno. En ninguna de las muestras se pudieron identificar diatomeas, lo que sugiere muy baja productividad.

DISCUSIÓN

De lo anteriormente mencionado es necesario tener precaución de extrapolar livianamente el principio de que *el presente*

es la clave del pasado. Lamentablemente aún no conocemos con precisión la edad de los depósitos ubicados entre las dos morenas de fondo (Caldenius 1932). El paleolago El Maitén dejó un registro de unos 140 años del Pleistoceno, estaba a mayor altura que los actuales lagos Epuyén y Puelo, y seguramente poseía mayores dimensiones. No podemos inferir si recibía aguas directamente de un glaciar o de un río, tampoco si en su fondo existían corrientes de turbidez (*undertow currents*) como el actual lago Puelo, o si se estratificaba superficialmente (como el Epuyén) o lo hacía a mayor profundidad (como el Puelo). La ausencia de diatomeas sugiere condiciones ultraoligotróficas. Muestreos semejantes realizados en el Cañadón de la Mosca (que corresponderían a un lago de mayores dimensiones que denominamos paleolago El Foyel) permitieron identificar diatomeas correspondientes a ambientes meso-eutróficos de poca profundidad (*Staurosira construens* var. *venter* y *Staurosirella pinnata*). Los depósitos glaci-lacustres pleistocénicos (>58.000 años ¹⁴C A.P.; Bujalesky *et al.* 1997) cercanos al Lago Fagnano estaban dominados (70%) por *Epithemia adnata*, indicadora de aguas templadas, de pH alcalino y condiciones oligo-mesotróficas.

Comparaciones intrahemisféricas

Las mediciones obtenidas en los años 2003 y 2005 sobre la profundidad de la termoclina resultaron significativamente inferiores que las obtenidas para los mismos lagos durante verano-otoño (febrero a abril) de 1984 (Quirós y Drago, 1985). En su afán de lograr aproximaciones a la profundidad de la termoclina, estos autores la relacionaron al alcance del viento (*fetch*), a la velocidad media del viento durante el verano y al tamaño de estos lagos. De todos modos, los valores obtenidos en el presente siglo XXI están dentro del mismo rango de profundidades de la termoclina, obtenidos con anterioridad a 1984, en los lagos chilenos, en su mayoría entre 7 y 31 m (Quirós y Drago 1985). En cambio, las temperaturas superficiales medidas en el verano de 1984 son entre 2

y 6 °C inferiores a las medidas durante el período 2003-2005 (las temperaturas del lago Epuyén coincidieron en ambos muestreos en 18 °C). La diferencia en el comportamiento de la termoclina entre ambos lagos se explica por el efecto de los vientos: el lago Epuyén se estratifica más superficialmente porque los vientos no llegan a homogeneizar la columna como lo hace en los sectores más superficiales de lago Puelo de mayores dimensiones y más sensible a los vientos.

Los lagos son receptores de los cambios climáticos que ocurren en sus cuencas. Ellos seguramente pueden explicar las diferencias en el ritmo de retroceso de los glaciares del Hielo Patagónico Sur. Los glaciares que más han retrocedido (Upsala, Ameghino, O'Higgins, Jorge Montt) tienen mayor contacto con lagos, mientras que los que tienen menor contacto con ellos (Viedma, Perito Moreno) han sido más estables hacia fines del siglo XX (Lliboutry 1988).

Comparaciones interhemisféricas

Los lagos andinos del norte de la Patagonia se estratifican entre 6 y 20 m. En ese sentido se pueden comparar con los lagos alpinos de latitudes similares de Suiza (Lugano, Zurich, Ginebra, Zug, Baldeg, Windermere, entre 46-47° N) que se estratifican estivalmente a profundidades entre 12 y 20 m (Lemmin y Mortimer 1986).

Implicancias climáticas y paleoclimáticas

El Glaciar Perito Moreno (Santa Cruz) responde a fluctuaciones ENSO que afectan al lago Argentino (Depetris y Pasquini 2001). De un modo similar, el brazo Tronador del lago Mascardi (Río Negro) es sensible a fluctuaciones en la tasa de sedimentación, también atribuido a efectos ENSO (Villarrosa *et al.* 2002). Estas fluctuaciones en los balances hidrológicos no sólo determinan el nivel de la termoclina sino también los patrones de decantación y consecuentemente su registro sedimentario. Los varves no indican entonces exclusivamente la señal es-

tacional (verano-invierno), sino que guardan el registro de ciclos interanuales.

Los lagos de Patagonia son de especial interés para analizar estos cambios en el pasado debido a algunas particularidades de su historia cuaternaria que permitieron la preservación de secuencias glaci-lacustres. La formación de morenas terminales significó no sólo el origen de lagos pedemontanos, también produjo posteriormente cambios en el sentido del drenaje. Cuencas glaciales que drenaban hacia el Océano Atlántico, divisoria de hielos, comenzaron a drenar hacia el Pacífico, divisoria de aguas (Quensel 1910, Caldenius 1932, Isla y Cortizo 2005). Los ríos patagónicos argentinos vieron merados sus caudales porque fueron privados de sus áreas de recarga en la cordillera, y se conformaron así los valles disminuidos que caracteriza el paisaje estepario de la Patagonia oriental. De este modo el lago Lácar comenzó a drenar hacia el oeste por el río Huahum, lo mismo que los lagos Epuyén-Puelo por el río Puelo, el Futalauquen por el Grande-Futaleufú, y el tectónico lago Fagnano por el corto pero caudaloso río Azopardo. En sus antiguas cabeceras, estos cambios en el sentido del drenaje facilitaron la preservación de secuencias glaci-lacustres. Al interpretar los procesos que actúan en los lagos actuales respecto a los que ocurrieron durante el Cuaternario, debemos considerar que en muchos casos las evidencias geológicas apuntan a paleolagos de mayores dimensiones que los actuales y de mayor profundidad.

CONCLUSIONES

1. La secuencia de varves pleistocénicos del cerro Rigal representa ciclos verano-invierno. Los depósitos de invierno están compuestos por limo grueso de colores grisáceos. Los estratos de verano son claros y representan la descarga de deshielo con acarreo de gravas hasta arena fina. Los eventos episódicos descritos por Caldenius corresponden a scablands.
2. Los actuales lagos Epuyén y Puelo son la mejor referencia para interpretar los

paleolagos de la región. Tienen características diferentes (tamaño, productividad), se estratifican a diferentes profundidades y registran corrientes de densidad durante los meses de verano.

3. En los 131 años de registro del paleolago El Maitén, la ciclicidad reconocida coincide con los ciclos interanuales ENSO de 4 a 7 años.

AGRADECIMIENTOS

Los muestreos se realizaron con la ayuda del Sr. Mario Camiana de la chacra La Tierra. Las mediciones en los lagos se ejecutaron en la embarcación Juana de Arco, en la del Sr. Ignacio De Witte y en la del camping de Puerto Patriada. Los análisis granulométricos fueron realizados por Susana Serra, J. Rabassa y un árbitro anónimo ayudaron a mejorar el manuscrito.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Battarbee, R. 2000. Human impacts on lake ecosystems (LIMPACS). Pages Newsletter 8(3): 20-21.
- Bujalesky, G., Heusser, C.J., Coronato, A., Roig, C. y Rabassa, J. 1997. Pleistocene glacialacustrine sedimentation at Lago Fagnano, Andes of Tierra del Fuego, Southernmost South America. *Quaternary Science Reviews* 16: 767-778.
- Caldenius, C.C. 1932. Las glaciaciones cuaternarias en la Patagonia y Tierra del Fuego. *Geografiska Annaler* 14:1-164, Stockholm.
- Cazau, L.B. 1980. Cuenca de Ñirihuau-Ñorquincó-Cushamen. En Turner, J.C.M. (ed.) *Geología Regional Argentina*, Academia Nacional de Ciencias 2: 1149-1171, Córdoba.
- Depetris, P.J. y Pasquini, A.I. 2001. The hydrological signal of the Perito Moreno glacier damming of Lake Argentino (Southern Andean Patagonia): The connection to climate anomalies. *Global and Planetary Change* 23: 45-65.
- Evarsa 2004. Estadística hidrológica de la República Argentina. Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios 2, 515 p., Buenos Aires.
- Folk, R. y Ward, W. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27(1): 3-26.
- Hakanson, L., 1981. A manual of lake morphometry. Springer Verlag, 78 p.
- Hakanson, L. y Jansson, M. 1995. Principles of lake sedimentology. Springer Verlag, 316 p.
- Horiba, 1991. Instruction Manual. Water quality checker U-10. 77 p., Kyoto.
- Isla, F.I. y Cortizo, L.C. 2005. Patagonian cliff erosion as sediment input to the continental shelf. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 773-778, La Plata.
- Lemmin, U. and Mortimer, C. H. 1986. Tests of an extension to internal seiches of Defant's procedure for determination of surface seiche characteristics in real lakes. *Limnology and Oceanography* 31(6): 1207-1231.
- Lliboutry, L. 1988. Glaciers of South America. Glaciers of Chile and Argentina. En Willmans R.S. y Ferrigno, J.G. (eds.) *Satellite image atlas of glaciers of the World*, U.S. Professional Paper 1386-I: 1109-1206.
- Masiokas, M.H., Villalba, R., Luckman, B.H., Lascano, M.E., Delgado, S. y Stepanek, P. 2007. 20th-century glacier recession and regional hydroclimatic changes in northwestern Patagonia. *Global and Planetary Change* 54: 19-32.
- Pizzolon, L. 1991. Estimación del impacto ambiental producido por una salmonicultura en fase experimental en el Lago Epuyén. Informe Técnico L.E.A. 18. en www.hidricosar-entina.gov.ar/Indice-Epuyen.html.
- Quensel, P.D. 1910. On the influence of the ice age on the continental watershed of Patagonia. *Bulletin Geological Institute of the University of Upsala* 9: 60-92.
- Quirós, R. 1988. Mapas batimétricos y parámetros morfométricos de lagos patagónicos de Neuquén, Río Negro y Chubut (Argentina). Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Departamento de Aguas Continentales, Informe Técnico 5, 48 p.
- Quirós, R. y Drago, E. 1985. Relaciones entre variables físicas, morfométricas y climáticas en lagos patagónicos. *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral* 16(2): 181-199.
- Villarrosa, G., Crivelli, E. y Ariztegui, D. 2002. Variaciones en las tasas de sedimentación como indicadores de episodios climáticos en el Lago Mascardi, Parque Nacional Nahuel Huapi. 9° Reunión Argentina de Sedimentología, Resúmenes 112, Córdoba.
- Wilkinson, L. 1986. SYSTAT. The system for statistics, 273 p., Evanston.

Recibido: 19 de marzo, 2007

Aprobado: 22 de noviembre, 2007