

# PALEOLIMNOLOGÍA DE LA LAGUNA CERRILLO DEL MEDIO, MONTE, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Nauris V. DANGAVS y Juan M. REYNALDI

Instituto de Geomorfología y Suelos, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata y Comisión de Investigaciones Científicas, Provincia de Buenos Aires. Email: nauris@igs.edu.ar

## RESUMEN

Se caracterizaron el medio físico del ambiente, la fisiografía, el sistema geomorfológico de la región, las características hidrológicas y el origen de la cubeta lagunar. La geología superficial está definida por diez unidades estratigráficas (siete litoestratigráficas y tres pedoestratigráficas). La más antigua es la Formación Ensenada del Pleistoceno medio, que constituye el sustrato regional, donde se excavó la cubeta lagunar. Encima se dispone la Formación Buenos Aires del Pleistoceno tardío, en cuya parte cuspidal se sitúa un Geosuelo Sin Nombre. Las siguientes cuatro unidades corresponden a depósitos eólicos de dunas de arcilla y loésicos de la Formación La Postrera I, II, III y IV, de edades dispares, que abarcan desde el Pleistoceno tardío al Holoceno tardío-tardío. La Formación La Postrera II y III poseen los Geosuelos Puesto Callejón Viejo y Puesto Berrondo respectivamente. En las playas afloran depósitos aluviales, que incrementan su espesor en el lecho lagunar. En los sedimentos colmatantes se reconocieron seis depósitos, cinco representan a ambientes acuáticos: Formación Luján, Miembros La Chumbiada, Lobos y Río Salado, del Pleistoceno tardío al Holoceno temprano a medio; formación subaluvial del Holoceno tardío y la actual formación aluvial. El sexto es un depósito eólico de duna de arcilla intracuenca del Pleistoceno tardío. El conjunto de los depósitos suprayacentes a la Formación Ensenada supera los 64 ka, representados por cinco episodios de clima seco que abarcan desde el loess Bonaerense hasta la pequeña edad de hielo (IS4, IS2, D3-L3, D2-L2, D1-L1) y cinco húmedos (IS3, S3, IS1, S1 y el actual).

Palabras clave: *Cuaternario, Paleolimnología, Paleoclimas, Provincia de Buenos Aires, Cuenca del Salado.*

## ABSTRACT: *Paleolimnology of Laguna Cerrillo del Medio, Monte, Buenos Aires Province.*

The regional physical environment was characterized, describing the physiographic and geomorphic features, the hydrologic regime and the origin of the shallow lake basin. The surficial geology is defined by ten stratigraphic units (seven lithostratigraphic units and three geosols); the oldest one, Ensenada Formation of Middle Pleistocene, makes up the regional substrate, in which the lake basin was excavated. It is overlain by the loess of the Buenos Aires Formation of Late Pleistocene, which is topped by a geosol. The four overlying units are constituted by aeolian deposits (clay dunes and loessic sediments) and two paleosols, ascribed to La Postrera I, II, III and IV Formation from Late Pleistocene to Upper Late Holocene age and the Puesto Callejón Viejo and Puesto Berrondo Geosols. In the lakes infilling sediments, six stratigraphic units were recognized. Five of them are aquatic deposits of decreasing age: Luján Formation, La Chumbiada, Lobos and Río Salado Members from Late Pleistocene to Early to Middle Holocene age; suballuvial formation of Late Holocene and the recent alluvial formation, The sixth unit is a Late Pleistocene intrabasin clay dune deposit. The sequence of geologic events is registered in the infilling sediments and those of the lake surroundings, which encompass a span much more than 64 ky, represented by five dry climate episodes, from the Buenos Aires Formation loess of Late Pleistocene to La Postrera IV Formation loess, assigned to the little ice age, i.e: IS4, IS2, D3-L3, D2-L2, D1-L1 and five humid, i.e: IS3, S3, IS1, S1 and the present alluvial sediments.

Keywords: *Quaternary, Paleolimnology, Paleoclimates, Buenos Aires Province, Salado River drainage basin.*

## INTRODUCCIÓN

La laguna Cerrillo del Medio se encuentra en el distrito de Monte, región noreste de la provincia de Buenos Aires e integra la cuenca menor del arroyo Totoral-lagunas Encadenadas, tributaria de la cuenca mayor del río Salado. Dicha cuen-

ca menor se caracteriza por numerosos ambientes lénticos, siendo el principal el grupo fluvio-lacustre en rosario, denominado lagunas Encadenadas de Monte, cuyo penúltimo eslabón está representado por esta laguna, situada al este de la ruta nacional 3, en terrenos de la estancia homónima y sin acceso público, siendo

las coordenadas geográficas de su centro 35° 37'30"S y 58°47'30"O (Figs. 1 y 2).

Los únicos antecedentes geológicos cercanos al área de estudio provienen del sector sur de la cuenca de las Encadenadas y corresponden a Tapia (1935) y Riggi (1935), quienes caracterizaron los montículos del paraje Los Cerrillos y el

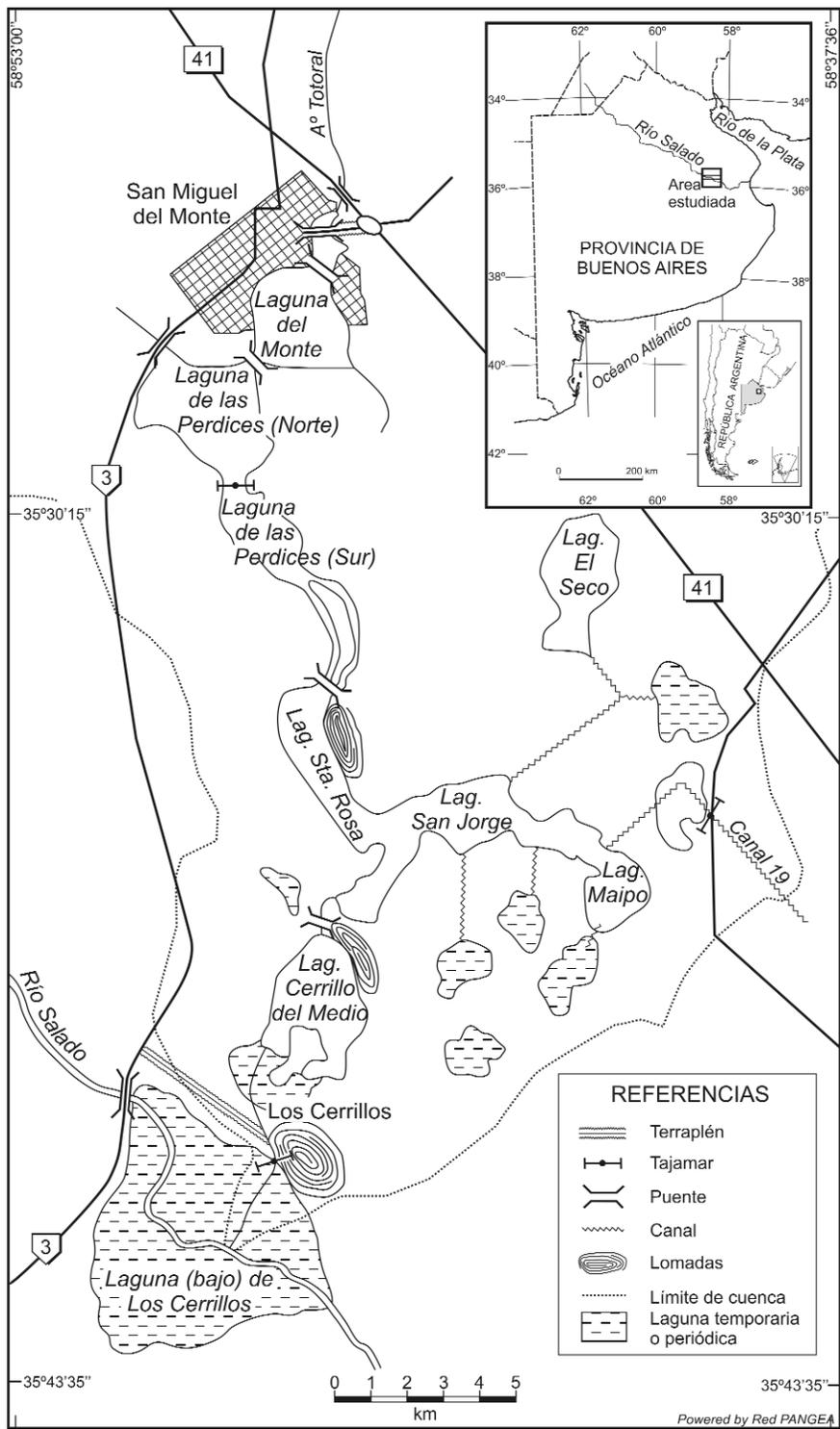


Figura 1: Croquis de ubicación de la cuenca de las lagunas encadenadas de Monte

"bajo de Los Cerrillos", respectivamente. Ambos autores asignaron dichos montículos y el sustrato regional al Araucano (Plioceno). Por otra parte, Riggi (1935) reconoció además la existencia de depó-

sitos lujanenses y platenses en el lecho del "bajo de Los Cerrillos" y sedimentos bonaerenses en los lugares más altos. La cubeta lagunar representa un ambiente de sedimentación, en cuyos casi 5 m de

depósitos se halla el registro discontinuo de la sedimentación cuaternaria. La evaluación de las acumulaciones del lecho, junto con el de las unidades estratigráficas de la periferia lagunar conforman un cuadro integrador paleoambiental y paleoclimático de la región desde el Pleistoceno tardío a la actualidad, todo lo cual contribuye al intento de acercarnos a la realidad fáctica de la región, fundamento de este aporte.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizaron diez perforaciones con barrenos balde en el lecho lagunar hasta el piso de la cubeta, dos en el arroyo Wouters y cuatro en el montículo de la costa noreste (Fig. 2), así como muestreos y observaciones a lo largo de las barrancas y cursos relacionados. La ubicación de cada sondeo se estableció con posicionador satelital y las nivelaciones de vinculación con arranque en puntos fijos del Instituto Geográfico Militar (IGM). Para la laguna se utilizó el punto trigonométrico 6G-IV-2288 y el mojón de piedra en cota 18,4 m, situado en el límite entre las estancias San Genaro y Cerrillo del Medio; en tanto, para el arroyo Los Cerrillos, el punto altimétrico de cota 20,31 m, registrado en la Hoja IGM 3560-30-3. La base cartográfica consistió en fotografías aéreas y fotomosaicos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en 1: 20.000, mapas topográficos e imágenes satelitales del IGM en 1: 50.000 y la carta parcelaria y rural en escala 1: 25.000 de la Dirección de Geodesia de Buenos Aires. Se estudiaron megascópicamente 98 muestras; en 70 de ellas se realizó el análisis textural de todas las fracciones y la mineralogía de las gravas, arena y limo grueso. Para el tamizado y pipeteo se utilizaron los criterios de Carver (1971); la distribución granulométrica fue interpretada a partir de curvas de frecuencia acumulada en papel probabilístico y la clasificación textural y el cálculo de parámetros estadísticos se basó en Folk (1968). El contenido mineralógico fue determinado en microscopio binocular y petro-

gráfico. Los restos de moluscos y foraminíferos fueron identificados por microscopía binocular.

MARCO AMBIENTAL

La cuenca léntica forma parte de una extensa llanura de acumulación de sedimentos mayormente limosos. El relieve es suave y la pendiente regional muy escasa en dirección general SSE (valor medio 0,128 %). La mayor altitud de la cuenca se halla en el extremo norte en cota 34,3 m s.n.m. y la menor en la desembocadura del arroyo Los Cerrillos en el río Salado, en cota 15,5 m, siendo la altitud media del complejo fluvio-lacustre de 24,9 m s.n.m. Por otra parte, la pendiente local puede alcanzar valores entre 2,4 % y 3,5 %, en los montículos de la porción austral de la cuenca, en terrenos de las estancias Santa Rosa del Monte, Cerrillo del Medio y Los Cerrillos. En el resto de la región las lomas son escasas y de poco desarrollo.

La cuenca se caracteriza por dieciocho ambientes lénticos principales y un sinnúmero de pequeños cuerpos de agua. En crecientes siete de ellos se integran en el grupo fluvio-lacustre de las Encadenadas de Monte, conformado, de norte a sur por las lagunas: del Monte, de las Perdices, Santa Rosa, San Jorge, Maipo, Cerrillo del Medio y Los Cerrillos (Fig 1). Desde el punto de vista hidrográfico la cuenca posee un eje de drenaje principal de rumbo aproximado N y de 71,2 km de largo, que desemboca en sucesivos ambientes encadenados hasta llegar al río Salado. Las nacientes del sistema se sitúan en la cota 33,75 m en proximidades del Paraje La Noria y la desembocadura en cota 12,82 m, lo que representa un desnivel total de 20,93 m y una pendiente de 0,029 %. Al norte, el eje de drenaje está representado por arroyo Totoral, el que a 37 km de sus nacientes desemboca en el extremo norte de la laguna del Monte (Boca del Totoral) y de allí las aguas del sistema fluyen a lo largo de 34 km a través del resto de las lagunas mencionadas, salvo Maipo, la que no se halla

en el eje de escurrimiento, sino que desagua en la laguna San Jorge. Cabe señalar que en esta última el sistema entronca con un ramal secundario de 27 km, proveniente del sector oriental de la cuenca, a lo largo del cual se sitúan otros tantos

cuerpos de agua (Fig. 1).

Los tributarios de la laguna Cerrillo del Medio están representados por dos arroyos que nacen en el brazo sur de la laguna San Jorge. Al oeste, el arroyo Wouters, un curso semi-permanente, de 1,3 km de

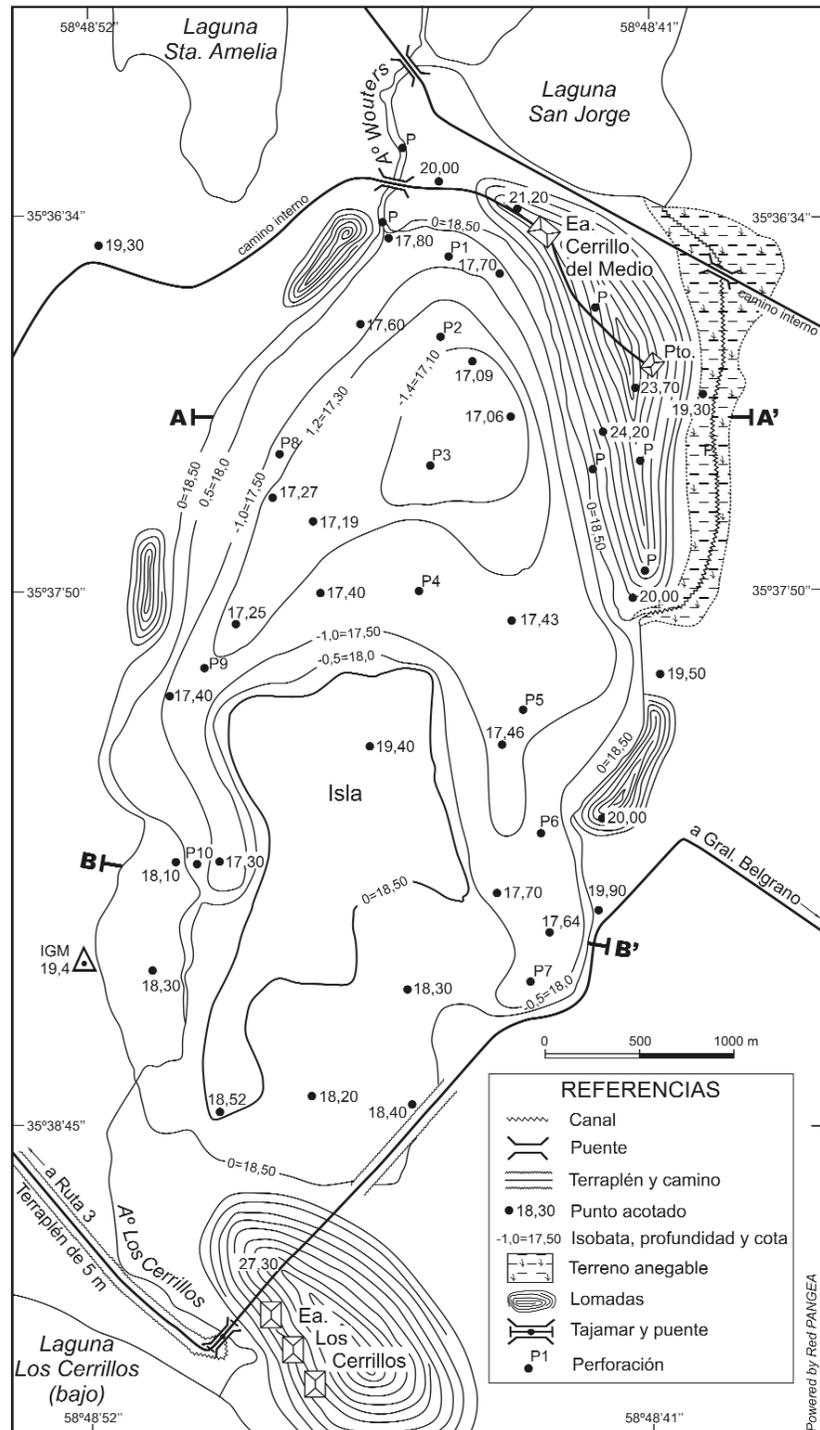


Figura 2: Planimetría acotada y batimetría en metros de la laguna Cerrillo del Medio.

largo, que desemboca en el extremo NNO de la laguna (Fig. 2). Al este un curso temporario de 2,6 km, activo sólo en crecientes, que desemboca en la parte central de la costa oriental. El efluente es el arroyo Los Cerrillos, curso semi-permanente de 3,5 km de extensión, que nace en el extremo sudoeste de la laguna y desemboca en la laguna Los Cerrillos o "bajo de Los Cerrillos". En estiaje del río Salado dicha laguna se vacía y el arroyo extiende su curso 2 km, recortando el lecho lagunar seco hasta desembocar en el río Salado (Figs. 1 y 2).

La laguna forma parte del sistema geomorfológico cuenca de las Encadenadas de Monte, integrado por dos unidades geomorfológicas contrastantes: el área de dominio fluvio-lacustre y el de la planicie de acumulación limosa eólica. En la primera unidad geomorfológica, a la que pertenece la laguna, los elementos más conspicuos están constituidos principalmente por cauces, cubetas, bañados, planos aluviales y las formas antrópicas (canales, zanjas y zanjones, terraplenes de caminos, puentes, alcantarillas y caminos. En la segunda unidad, los elementos son más escasos y corresponden a formas de deflación-acumulación y de erosión laminar, los elementos de origen edáfico, determinados por alcalinidad y hidromorfismo y las antrópicas. Entre las primeras se destacan diversos tipos de micro y mesocubetas, pantanos y bañados, montículos y lomas. El entorno lagunar corresponde a la segunda unidad geomorfológica.

La laguna posee en cota 18,50 m una superficie de 6,7 km<sup>2</sup>, un volumen de 8,32 hm<sup>3</sup>, 1,44 m de profundidad máxima y 1,24 m de profundidad media. Se encuentra alojada en una cubeta de 6,4 m de profundidad y contorno bien definido, asimilable a un *wanne* colmatado, reducido en el Pleistoceno tardío en 72 ha por depósitos eólicos intracuencales que se adosaron al borde oriental de la cubeta primitiva. La forma actual es en palan-gana, lo que determina escasa profundidad y fondo chato, cuya cota mínima es de 17,06 m, situada en proximidades de

la costa oriental (Fig. 2).

La cubeta es de forma subovooidal a irregular, alargada en dirección NE y con un islote en el centro de su porción centro-sud, cuya existencia está condicionada por los niveles hídricos. En creciente puede ser tapado por el agua y en bajante, primero se transforma en una península y luego todo el sector austral en tierra firme.

En todo su perímetro posee costas altas, en su mayoría barrancosas o en taludes de pronunciado declive. Las primeras son de altitudes muy dispares; en la costa NNE, en una extensión de 2,3 km, se hallan las de mayor altitud de la cuenca (6 m), las que descienden hacia el noroeste hasta transformarse en taludes y hacia el sur en barrancas de menor expresión altimétrica. En el sector occidental la costa está conformada en los tramos más rectos por barrancas bajas (1-1,5 m) y en las ensenadas por taludes. Las costas del islote son en talud, que forma una playa arenolimsa con restos de conchillas y rodados de tosca, cuya altura depende del estado hidrológico (0,9 m en cota 18,5 m).

Desde el punto de vista hidrológico la laguna es alimentada principalmente por el agua libre subterránea y el escurrimiento superficial. Respecto al agua freática el sistema es efluente-influente. La laguna es efluente en casi todo el perímetro, salvo el sector sur, donde el escurrimiento subterráneo se realiza hacia el sur, en dirección a la laguna (bajo) Los Cerrillos. El régimen hídrico es de laguna semi-permanente, determinado por la inestabilidad de sus aportes ácuos, con amplias variaciones de volumen retenido, incluso la desecación. Durante las inundaciones la laguna rebalsa en todos los rumbos, salvo en la costa noreste.

En los años de balance hídrico negativo se produce el lento descenso del nivel lagunar en coincidencia con el descenso freático. Si el fenómeno persiste, el nivel freático se situará por debajo del lecho lagunar, determinando la desecación. Al respecto, cabe destacar que la laguna se secó entre 1942/44, 1954, 1956/57,

1967, 1971/72 y 2005/06.

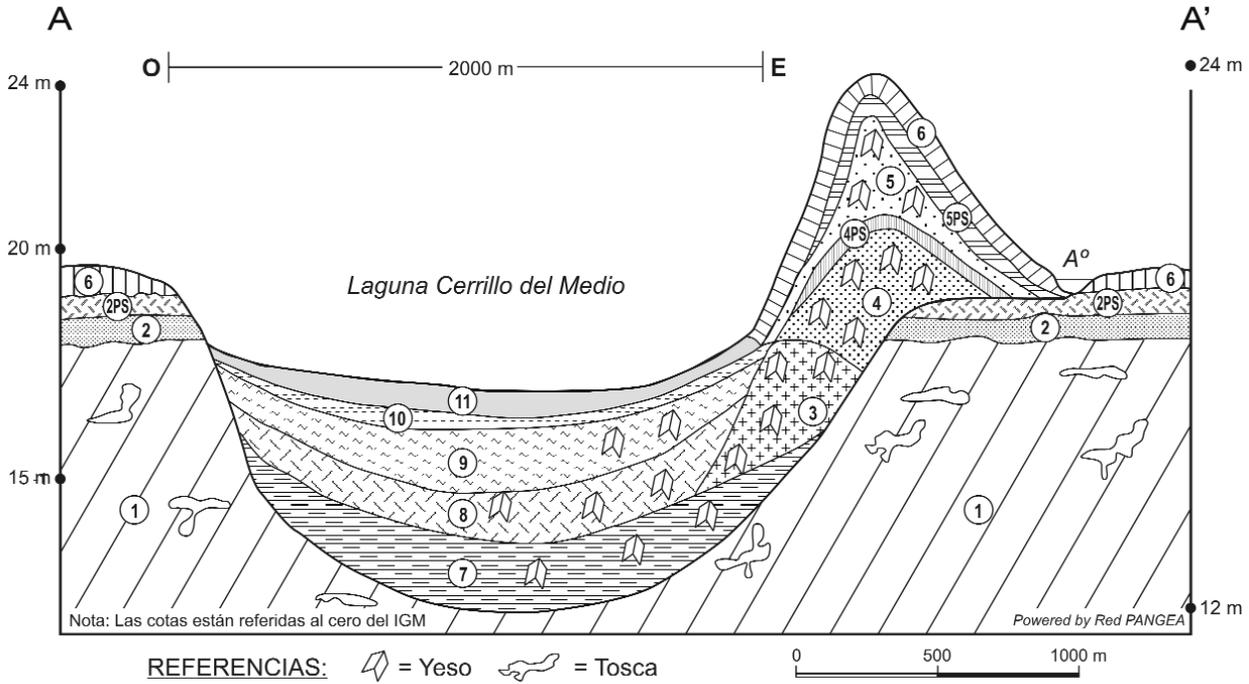
Este ambiente léntico ha perdido profundidad, debido a la colmatación con sedimentos, de tal forma que su lecho es susceptible a ser colonizado por vegetación acuática, lo cual nos permite clasificarlo como típica laguna pampeana, degradada por hidrofítia y rejuvenecida recientemente por desaparición de la gran masa de vegetación acuática invasora, que la había llevado al borde de transformarse en un pantano. En sentido hidrológico equivale a un lago playo (*flachsee*, alemán; *shallow lake*, inglés). La equivalencia exacta se establece con los lagos polimícticos y los lagos de tercer orden de la clasificación norteamericana (Hutchinson 1957), debido a la ausencia de estratificación térmica y química permanente, a causa de su escasa profundidad.

## GEOLOGÍA SUPERFICIAL

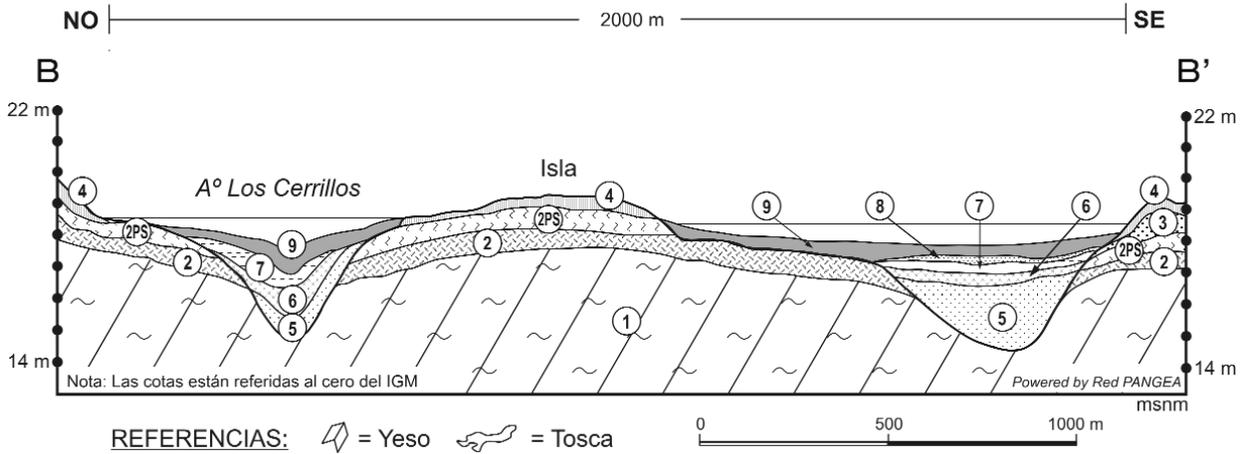
La laguna se encuentra asentada en depósitos sedimentarios cuaternarios, cuyos afloramientos son visibles solamente en sus barrancas y las de los cursos fluviales relacionados. Se han reconocido diez unidades estratigráficas entre aflorantes y no aflorantes (Figs. 3 y 4); de ellas, siete corresponden a unidades litoestratigráficas y tres a pedoestratigráficas, excluido el suelo actual, en desarrollo a expensas del depósito del eólico más reciente y eventualmente en el aluvio (Cuadro 1).

La unidad más antigua es visible en estiaje (en cotas <18,0 m) en la porción basal de las barrancas de la costa occidental. Se compone de limolitas arenosas y homeoconglomerados de color castaño oscuro (10YR 4/3). Estas sedimentitas se presentan desde macizas a estratificadas, leve a bien consolidadas y cementadas por carbonato de calcio en forma de septos subverticales a verticales. Esta unidad, en base a su posición estratigráfica y características litológicas, se asigna a la Formación Ensenada (Riggi *et al.* 1986) del Pleistoceno medio.

En discordancia se sitúa un depósito loésico castaño amarillento claro (10YR 6/4), friable a levemente consolidado, de



**Figura 3:** Perfil geológico del sector central de la laguna Cerrillo del Medio, según la sección AA' de la figura 2. 1: Formación Ensenada; 2: Formación Buenos Aires; 2Ps: Geosuelo Sin Nombre; 3: Formación La Postrera I; 4: Formación La Postrera II; 4Ps: Geosuelo Puesto Callejón Viejo; 5: Formación La Postrera III; 5Ps: Geosuelo Puesto Berrondo; 6: Formación La Postrera IV; 7: Formación Luján, Miembro La Chumbiada; 8: Formación Luján, Miembro Lobos; 9: Formación Luján, Miembro Río Salado; 10: Formación subaluvial; 11: Formación aluvial.



**Figura 4:** Perfil geológico de la laguna Cerrillo del Medio, según la sección BB' de la Figura 2, correspondiente a las nacientes del arroyo Los Cerrillos y el sector sudeste de la laguna. 1: Formación Ensenada; 2: Formación Buenos Aires; 2Ps: Geosuelo Sin Nombre; 3: Formación La Postrera III; 4: Formación La Postrera IV; 5: Formación Luján, Miembro La Chumbiada; 6: Formación Luján, Miembro Lobos; 7: Formación Luján, Miembro Río Salado; 8: Formación subaluvial; 9: Formación aluvial.

textura limo arenosa y estructura migajosa, con abundante bioturbación de raíces, tubos de insectos y calcretas en forma de muñecos. Esta unidad aflora en la costa norte, oeste y sudoeste con espesores que no superan el metro, incluido el paleosuelo truncado de su porción cuspidal,

compuesto por los horizontes Bt y BC, cuyo conjunto alcanza 0,40 m de espesor. Por su posición estratigráfica y características litológicas se asigna a la Formación Buenos Aires (Riggi *et al.* 1986) del Pleistoceno tardío y el paleosuelo al Geosuelo Sin Nombre de Fidalgo *et al.* (1973).

En la costa noreste, sobre las unidades previamente consideradas se dispone una sucesión de cuatro acumulaciones eólicas, análogas a las descritas por Danguav (2005a) en Chascomús; en cambio, en la costa norte y noroeste aparecen solamente las dos más recientes. En la

**CUADRO 1:** Cuadro estratigráfico comparativo del Cuaternario en Cerrillo del Medio

U. Litoestratigráficas	U. Pedoes-tratigráficas	Edad	Ameghino, 1889	Frenquelli, 1945/57	Fidalgo <i>et al.</i> , 1973; Fidalgo, 1990	Iriondo; Iriondo <i>et al.</i> 1993/95/99
Fm. Aluvial (14)		Actual	Piso Ariano	Arianense	Aluvio	0,2-0 ka
Fm. La Postrera IV (13)	En desarrollo	Holoceno tardío-tardío		Aimareense	Fm. La Postrera III	D1-L1 0,7-0,2 ka Pequeña Edad de Hielo
Fm. Subaluvial (11)	Geosuelo (12)	Holoceno tardío	Piso Aymar			S1 1,4-0,7 ka
Fm. La Postrera III (10)		Holoceno medio a tardío		Cordobense	Fm. La Postrera II	D2-L2 3,5-1,4 ka
Fm. Luján, Miembro Río Salado (8)	Puesto Berrondo Geosuelo Puesto Callejón Viejo (9)	Holoceno medio	Piso Platense	Platense Fluvial	F. Luján, Miembro Río Salado	IS 1- S2 8,5-3,5 ka Hypsthermal
Fm. La Postrera II (*) ; (7)		Pleistoceno tardío-tardío a Holoceno temprano		Platense Eólico	Fm. La Postrera I	D3_L3 <18-8,5 ka Younger Dryas
Fm. Luján, Miembro Lobos (6)	¿?	Pleistoceno tardío-tardío	Piso Lujanense (verde)	Lujanense	Fm. Luján, Miembro Guerrero	Fase Final IS2 S3; +/- 18 ka Allerod
Fm. La Postrera I (*) ; (5)		Pleistoceno tardío				IS2 ; D4-L4 <36 >18 ka
Fm. Luján, Miembro La Chumbiada (3)	Geosuelo (4) Sin Nombre	Pleistoceno tardío	Piso Lujanense (rojo)	Lujanense	Fm. Luján, Miembro Guerrero	IS3 - S4 <64- 36 ka
Fm. Buenos Aires (2)		Pleistoceno tardío	Piso Bonaerense	Bonaerense	Sedimentos Pampeanos	IS4 >64 ka
Fm. Ensenada (1)	¿?	Pleistoceno medio	Piso Ensenadense	Ensenadense	Sedimentos Pampeanos	IS 5 y >5 > 77 ka

(1,2): Riggi *et al.* (1986); (3): Dillon y Rabassa (1985); (5, 7 10 y 13): Dangavs (2005a); (6): Dangavs y Blasi (2003); (4, 8, 9 y 12): Fidalgo *et al.* (1973); (11): Doering (1884); (14): Valentín (1898); Sedimentos colmatantes: (3, 5, 6, 8, 11 y 14).

costa noreste estos depósitos se presentan superpuestos o yuxtapuestos, recortados al azar por la acción hídrica del lavado de pendientes y de las crecientes, constituyendo un montículo de 7,1 m de potencia, que se eleva 4,5 m sobre el llano circundante y 6 m sobre el nivel lagunar normal, mientras que la base se hunde 4 m en la cubeta primitiva, estableciendo una nueva línea de costa, 360 m al oeste del borde oriental anterior (cf. Fig. 3). Los episodios eólicos posteriores agrandaron sucesivamente el montículo hasta su configuración actual.

En este conjunto sedimentario no asoman los dos depósitos inferiores, mientras que el tercero, por erosión de la cubierta, aflora en algunos sitios. El primero es una duna de arcilla intracuencial, apoyada en la base sobre la Formación Luján, Miembro La Chumbiada (Dillon y Rabassa 1985) y lateralmente en la Formación Ensenada. El segundo es otra duna de arcilla, extracuencial por modificación de la antigua línea de costa, que se apoya sobre el eólico anterior y las Formaciones Ensenada y Buenos Aires. El tercero es un depósito loésico que

recubre la unidad anterior y el cuarto un delgado manto eólico, que corona el relieve.

El depósito inferior es de 2,1 m de espesor y está constituido por pellets de arcilla castaño claros (10YR 7/3), floclados en partículas de tamaño arena y limo grueso, que confiere al sedimento consistencia friable y seudotextura limo arenosa. Además posee pequeñas calcretas radiciformes, concreciones de hierro-manganeso, cristales de yeso y escasos restos fósiles redepositados (girogonites de charófitas y fragmentos de conchillas de gasterópodos indeterminables). Por sus características litológicas, posición estratigráfica y origen se asigna a la Formación La Postrera I del Pleistoceno tardío (Dangavs 2005a).

Sobre el anterior se halla otro depósito análogo al descrito de 2,4 m de espesor, pero de color amarillento pálido (5Y 8/3). La seudotextura es limo arenosa y el sedimento es friable a levemente consolidado, con muy abundantes pellets de arcilla, yeso y calcretas radiciformes. La unidad puede conservar en su parte cuspidal un paleosuelo truncado en el horizonte B argílico de 0,3 metros. Los escasos restos fósiles corresponden a organismos acuáticos redepositados provenientes del paleoambiente generatriz: girogonites de charófitas, valvas de ostrácodos y conchillas de *Heleobia parchappei* y *Biomphalaria tenagophila*. Este depósito corresponde a la Formación La Postrera II del Pleistoceno tardío-tardío (Dangavs 2005a) y su paleosuelo cuspidal al Geosuelo Puesto Callejón Viejo de Fidalgo *et al.* (1973) del Holoceno temprano.

El tercer integrante del conjunto se localiza en el sector costero noreste a noroeste. En la costa noroeste y norte está fuertemente erosionado, mientras que en la noreste adquiere su máxima expresión, constituyendo los laterales y la parte superior del montículo, recubriendo los eólicos de mayor edad. El depósito está constituido por un sedimento limo arenoso de aspecto loésico y estructura migajosa, friable en húmedo a levemente endurecido en seco, castaño muy claro

(10 YR 6/3), que alcanza un espesor de 2,7 m en el eje del montículo.

La composición de la fracción arena mediana a limo grueso se caracteriza por componentes volcániclos, escaso yeso y ausencia de carbonatos. La arena mediana es mínima, representada por grumos de pelitas, yeso, cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico. En la arena fina es mayoría el vidrio volcánico en trizas límpidas o rellenas con arcilla, acompañado de feldespato potásico, líticos volcánicos, que brindan aspecto rojizo al sedimento, también son frecuentes la plagioclasa, cuarzo y pesados. En la arena muy fina el orden de abundancia es el siguiente: plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico, líticos volcánicos, vidrio volcánico y minerales pesados. En el limo grueso son muy abundantes los minerales pesados: opacos, en su mayoría magnetita, anfíboles, piroxenos, micas y epidotos. Los restos fósiles son muy escasos y corresponden a fragmentos de conchillas, huesitos rodados y fitolitos.

En la parte cuspidal conserva un paleosuelo de 0,45 m, con un horizonte B cámbico (Bw) de 0,15 m y un BC de 0,30 metros. En algunos sitios de la costa nor-este corona el relieve, en cuyo caso constituye un suelo relicto (*sensu* Teruggi 1984). Salvo por la ausencia de yeso, la mineralogía del paleosuelo es afín al de su roca madre. Esta unidad estratigráfica se correlaciona con la Formación La Postrera III del Holoceno medio a tardío (Dangavs 2005a) y el paleosuelo con el Geosuelo Puesto Berrondo de Fidalgo *et al.* (1973) del Holoceno tardío.

El sedimento mantiforme que corona las barrancas recubre gran parte del montículo, incluso el pie del mismo. Este depósito eólico, en cuyo seno se están desarrollando los suelos actuales, está constituido por un sedimento edafizado de aspecto loésico y perfil edáfico corto (A1/AC) de 0,3 a 0,5 metros. Se compone de limos arenosos friables castaños grisáceos muy oscuros (10YR 3/2) en el horizonte A y castaños grisáceos oscuros (10YR 4/2) en el AC. La estructura es granular, la materia orgánica y la biotur-

bación son abundantes y carece de carbonatos. Esta unidad estratigráfica se asigna a la Formación La Postrera IV del Holoceno tardío-tardío (Dangavs 2005a). En estiaje se puede observar la cubierta sedimentaria marginal de la cubeta lagunar, la que está conformada por las acumulaciones más recientes, denominadas colectivamente formación aluvial (Valentín 1898). Estas consisten en gravas arenosas escasamente seleccionadas y arenas limosas, que se presentan en forma discontinua como depósitos de playa actual y subactual a lo largo del perímetro lagunar, recubriendo sedimentos de mayor edad. En cambio, el mayor desarrollo areal y volumétrico de los depósitos aluviales se encuentra en el sector más interno del lecho lagunar, donde serán descriptos en el siguiente acápite.

### PALEOLIMNOLOGÍA

Sobre el lecho primitivo de la cubeta, labrado en sedimentitas de la Formación

Ensenada se hallan hasta 4,8 m de sedimentos de relleno, determinados en base a las perforaciones del lecho, en cuyo espesor se han reconocido, además de las acumulaciones del ambiente actual, un depósito eólico intracuencial y cuatro paleoambientes lénticos. Dichas unidades se encuentran indicadas en el cuadro 1 y figuras 3 y 4. Las características texturales y los parámetros estadísticos de los sedimentos de cada unidad están representados en el cuadro 2.

Los depósitos correspondientes a los paleoambientes acuáticos representan a otras cuatro unidades estratigráficas, las que añaden a las diez vistas en el acápite anterior. También cabe destacar que los espesores de los sucesivos depósitos de los paleoambientes acuáticos son erosivos y por ende mínimos. Esta característica estratigráfica es repetitiva en la mayoría de los ambientes actuales o extingui-

**CUADRO 2:** Sedimentos colmatantes. Parámetros texturales y estadísticos de muestras sin yeso.

Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Text.	Md (φ)	Mz (φ)	I (φ)	SK	KG	Unidades
40,6	42,1	17,3	LA	4,20	5,47	2,63	0,77	1,88	Fm. Aluvial
32,6	51,0	16,4	LA	4,40	5,43	2,26	0,75	1,16	Fm. Aluvial
28,6	57,2	14,2	LA	4,70	5,38	1,93	0,53	0,98	Fm. Aluvial
25,6	54,5	19,9	LA	5,25	5,83	2,34	0,44	0,89	Fm. Aluvial
14,0	58,3	27,7	LA	5,25	6,25	3,03	0,56	0,99	Fm. Aluvial
8,2	54,0	37,8	F	7,10	7,40	2,85	0,22	1,06	F. Aluvial
27,8	56,3	15,9	LA	4,80	5,53	2,12	0,57	0,98	Fm. Subaluvial
26,9	56,1	17,0	LA	5,00	5,65	2,16	0,49	0,90	Fm. Subaluvial
13,1	62,0	24,9	LA	5,60	6,58	2,87	0,52	1,10	M Río Salado
13,0	61,0	26,0	LA	4,40	6,07	2,51	0,72	1,60	M Río Salado
43,9	47,7	8,4	LA	4,10	4,68	1,53	0,71	1,73	M Lobos
37,9	52,6	9,5	LA	4,20	4,83	1,61	0,68	1,50	M Lobos
17,8	63,7	18,5	LA	5,00	5,75	2,22	0,50	0,98	M Lobos
15,7	67,8	16,5	LA	5,10	5,60	2,61	0,63	1,08	M Lobos
13,7	59,0	27,3	LA	5,60	6,38	2,58	0,49	0,92	M Lobos
10,3	66,7	23,0	LA	5,10	6,09	2,32	0,62	1,10	M Lobos
47,6	47,8	4,6	LA	4,05	4,33	1,14	0,57	2,01	M LaChumbiada
34,9	57,2	7,9	LA	4,25	4,82	1,50	0,64	1,32	M LaChumbiada
32,8	58,2	9,0	LA	4,30	4,93	1,59	0,64	1,16	M LaChumbiada
33,3	54,9	11,8	LA	4,45	5,13	1,74	0,62	1,22	M LaChumbiada
32,6	51,0	16,4	LA	4,58	5,43	2,40	0,64	1,55	M LaChumbiada
28,3	64,2	7,5	LA	4,05	4,37	1,19	0,65	1,93	M LaChumbiada
26,3	66,3	7,4	LA	4,55	4,93	1,51	0,49	1,41	M LaChumbiada

Text: textura; F: fango; LA: limo arenoso; Md: mediana; Mz: media gráfica; I: desvío; SK: asimetría; KG: curtosis; Fm: formación; M: miembro

dos de la cuenca del Salado (Dangavs 2005b, Dangavs *et al.* 2003).

### Sedimentos del primer paleoambiente léntico

Sobre el lecho primitivo se hallan entre 0,82 y 2,24 m de depósitos limo-arenosos gris castaño claros (10YR 6/2) a castaño claros (10YR 6/3) en seco, en los cuales son comunes las rosetas de yeso, así como algunos restos fósiles de mamíferos. Estos sedimentos son friables a levemente consolidados, macizos o estratificados en capas de 1 cm de espesor. Cabe destacar que la potencia máxima registrada para la unidad (2,24 m) es llamativa y poco usual en la cuenca; se encuentra exclusivamente en el sector sudeste de la cubeta y representa el 70% del relleno sedimentario del sitio.

Los parámetros texturales y estadísticos de la unidad indican una relación porcentual media de arena: limo: arcilla de 34:57:9 y distribución granulométrica unimodal, con la moda tanto en el limo grueso (hasta 38%) como en la arena muy fina (hasta 47,4%). La admixtura proximal es gruesa o fina según el caso. Las admixturas gruesas se sitúan en 4  $\phi$  y alcanzan 25,3%; en cambio las finas están en 5  $\phi$  (hasta 32%). Las curvas acumulativas indican tamaño promedio en el limo grueso, pobre selección, asimetría muy fina y acuminación leptocúrtica.

La mineralogía de la unidad se caracteriza en el tamaño arena muy gruesa y gruesa por yeso, a veces con fuertes signos de corrosión, calcretas (tosquillas) y cementos de carbonato de calcio y hierro, que suelen recubrir al yeso y las conchillas. El yeso se presenta en rosetas mayores a 2 cm, microrrosetas, cristales prismáticos, y agregados sacaroidales. Las calcretas en forma de muñecos y cilíndricas macizas. En el tamaño arena mediana, la mineralogía es semejante a la anterior, incorporándose además las concreciones de hierro, cristales de yeso discoidal y cuarzo redondeado. En la arena fina, a veces predomina el yeso discoidal y las calcretas, otras veces el vidrio volcánico y las

calcretas. El vidrio volcánico se presenta en trizas angulares y laminar, incoloro, límpido o alterado en una masa arcillosa blanquecina (alterita), acompañado de plagioclasa límpida a lechosa, feldespato potásico amarillo, rojizo y anaranjado, cuarzo incoloro recubierto por pátinas rojizas y líticos volcánicos rojos. En la arena muy fina, el yeso es escaso, en cambio predominan los siguientes componentes: plagioclasa, cuarzo, vidrio volcánico, feldespato potásico, líticos volcánicos y minerales pesados: magnetita, muscovita, biotita alterada y anfíboles. La magnetita es el mineral pesado más abundante en el tamaño limo grueso.

El contenido paleontológico consiste en restos no identificables de fragmentos de huesos de mamíferos, así como porciones de placas de caparazón de *Glyptodon* sp., dientes de *Amerhippus neogenus* y huellas dérmicas de *Mylodon* sp. Asimismo, se encuentran restos de organismos acuáticos: escamas de peces, conchillas de *Heleobia parhappei* (d'Orbigny), *H. ameghinoi* (Doering), *Succinea meridionalis* (d'Orbigny), *Biomphalaria tenagophila* (d'Orbigny), *Lymnea* sp. (d'Orbigny) y *Pomacea* sp. (Lamarck), valvas de ostrácodos, girogonites y tubos calcáreos de charófitas y diatomeas.

Este depósito representa un paleoambiente dulciacuícola de carácter fluvio-lacustre, que por sus características litológicas y posición estratigráfica se asigna a la Formación Luján, Miembro La Chumbiada (Dillon y Rabassa 1985) del Pleistoceno tardío.

### Depósito eólico intracuenal

En la franja costera noreste, sobre los sedimentos del Miembro La Chumbiada se encuentra un depósito de duna de arcilla (Dangavs 1979) con yeso de 2,1 m de espesor, 340 m de ancho y 2 km de extensión. Este sedimento está constituido por pellets de arcilla, acumulados por acción eólica durante un episodio de aridez. Este depósito que se asigna a la Formación La Postrera I (Dangavs 2005 a), ha sido descrito en el acápite de geología superfi-

cial.

### Sedimentos del segundo paleoambiente léntico

Suprayacen a los depósitos anteriores hasta 1,07 m de sedimentos gris oliva claros (5Y 6/2) en seco, con abundante yeso y texturas limo arenosas. El depósito, en general, es macizo, salvo en algunas muestras, donde se observa laminación. La consistencia de estos materiales es friable en húmedo y duros a muy duros en seco.

Los parámetros texturales y estadísticos permiten establecer dos tipos de poblaciones limo arenosas: bimodal y polimodal. La primera ocupa todo el sector sudoeste, en relación con las nacientes del actual arroyo Los Cerrillos y las zonas marginales del paleoambiente; la otra es dominante y se encuentra principalmente en la zona central. La relación porcentual media de arena: limo: arcilla del grupo bimodal es 39:50:11, con la moda principal en 4  $\phi$  (hasta 42,9%), admixtura proximal fina en 5  $\phi$  (hasta 33%) y moda secundaria en 8  $\phi$  (hasta 8,6%). Estos sedimentos están pobremente seleccionados, con curvas muy asimétricas finas y de acuminación leptocúrtica.

El grupo polimodal posee una relación porcentual media de arena: limo: arcilla 15:64:21, con la moda principal en 5  $\phi$  (hasta 30,8%). La admixtura proximal y la moda secundaria depende de la ubicación en el paleoambiente. En la zona más externa la admixtura se ubica en 4  $\phi$  (hasta 17%) y moda secundaria en 7 o 8  $\phi$  (hasta 11,9%); en cambio, en la más interna en 6  $\phi$  (hasta 14%) y moda secundaria en 8 o 9  $\phi$  (hasta 10,5%). La tercer moda en ambos casos se ubica en la fracción <11  $\phi$  (hasta 10,2%). Los sedimentos están muy pobremente seleccionados, con curvas muy asimétricas finas y mesocúrticas.

La mineralogía en el intervalo arena muy gruesa a mediana está determinada por pellets de arcilla verdes, grumos de pelitas castaños y minerales epigénicos: yeso, cementos y concreciones de carbonato

de calcio, hierro y hierro-manganeso, excepcionalmente aparecen cristales de baritina. Frecuentemente el carbonato de calcio y los óxidos de hierro recubren los cristales de yeso, los restos de organismos y engloban a los clásticos. En la arena fina a limo grueso la composición es yeso, pellets de arcilla, vidrio volcánico, plagioclasa límpida, cuarzo incoloro, feldespato potásico amarillo y rojo, líticos volcánicos rojizos y minerales pesados (hornblenda, muscovita, magnetita, etc.). El vidrio volcánico se presenta en trizas límpidas, relleno en los canalículos con arcilla o alterado en una masa arcillosa blanca (alterita). En el tamaño limo grueso los opacos y la muscovita son los minerales pesados más abundantes.

Los restos de organismos de la unidad son abundantes y están representados principalmente por conchillas de gasterópodos: *Heleobia parchappei*, *H. ameghinoi*, *Biomphalaria tenagophila*, *Succinea meridionalis* y *Lymnaea* sp. Además se encuentran pequeños restos óseos, caparzones y valvas de ostrácodos, girogonites y tubos calcáreos de algas charáceas de varias especies y cónculas de foraminíferos de *Ammonia beccarii* var. *parkinsoniana* (d'Orbigny) y *Elphidium discoidale* (d'Orbigny). Se destaca también la existencia de improntas de tallos sobre grumos de pelitas cementados por óxidos de hierro.

El depósito colmatante descrito representa las acumulaciones de un paleoambiente acuático dulciacuícola, que en sus postrimerías se transformó en salado, con presencia de elementos faunísticos eurihalinos (foraminíferos), para cuyos restos se admite el origen atalásico (cf. Dangavs y Blasi 2003). Esta unidad se asigna en base a su litología y posición estratigráfica a la Formación Luján, Miembro Lobos del Pleistoceno tardío-tardío (Dangavs y Blasi 2003).

### Sedimentos del tercer paleoambiente léntico

Sobre la unidad anterior se halla un depósito pelítico con lentes de ceniza volcánica y carbonato de calcio que alcanza

una potencia de 1,30 metros. Estos sedimentos se componen de limos arenosos blancos (10YR 8/2), grises claros (10YR 7/2) o castaños muy claros (10YR 7/3) en seco, macizos o estratificados en láminas, friables en húmedo a levemente endurecidos en seco y con relativa abundancia de poros.

Los parámetros texturales y estadísticos de estas muestras tienen una relación porcentual media de arena: limo: arcilla de 36:54:10, y distribución granulométrica unimodal a levemente bimodal, con la moda principal mayormente en 4  $\phi$  (hasta 47,4 %), en menor cuantía en 5 o 6  $\phi$ . En el primer caso, la admixtura proximal es fina en 5  $\phi$  (hasta 33,2 %) y en los otros gruesa en 4 o 5  $\phi$ . La moda secundaria en ningún caso supera 10 % y se sitúa entre 8 y 11  $\phi$ . Los sedimentos son pobre a muy pobremente seleccionados, con curvas muy asimétricas finas y de variada acuminación (meso, leptó y muy leptocúrticas).

La composición de la fracción arena muy gruesa a mediana está representada por abundante carbonato de calcio en muñecos (0,2-1 cm), en parte rodados y como cementos de grumos y conchillas, grumos de pelitas, vidrio volcánico alterado, concreciones de hierro-manganeso, pellets de arcilla y en algunas muestras del centro de la cubeta cristales de yeso. La fracción arena fina a limo grueso es de composición cinerítica y está constituida por minerales volcánicoclásticos y líticos volcánicos en el siguiente orden de abundancia: trizas de vidrio volcánico, limpiadas, rellenas y/o alteradas en sustancias arcillosas verdosas opacas, plagioclasa, cuarzo, calcedonia, líticos rojos y grises y minerales pesados, principalmente opacos.

Los restos de organismos son muy abundantes y consisten en trozos de pequeños huesos, tejidos vegetales, semillas, fitolitos, girogonites, láminas y tubos calcáreos de algas charáceas, frústulos de diatomeas y estructuras algales, escamas y vértebras de peces, abundantes caparzones y valvas de ostrácodos de los géneros *Cyprideis*, *Cypridopsis*, *Cyprinotus*, *Ilyocypris* y

*Chlamidotheca*, así como de gasterópodos de agua dulce, donde se reconocen conchillas de *Heleobia parchappei*, *Biomphalaria tenagophila*, *Succinea meridionalis*, *Lymnaea* sp. *Tropicorbis* sp. y *Pomacea* sp.

Este depósito palustre dulciacuícola calcáreo, por sus características litológicas y posición estratigráfica se asigna a la Formación Luján, Miembro Río Salado de Fidalgo *et al.* (1973) del Holoceno temprano.

### Sedimentos del cuarto paleoambiente léntico

En el sector central y sudeste de la laguna sobre los sedimentos del Miembro Río Salado se encuentran depósitos limo-arenosos de aspecto verdoso (2,5Y 6/2: gris castaño claro) que no superan 0,40 m de espesor. Estos sedimentos son macizos, levemente consolidados, con muy abundante bioturbación y escasas raíces. No obstante que todos los sedimentos de la unidad están representados por limos arenosos, la posición en la cubeta queda reflejada en sus parámetros texturales y estadísticos. En el sector periférico la relación porcentual media de arena: limo: arcilla es de 28:56:16 y la distribución granulométrica levemente bimodal, con la moda principal en 4  $\phi$  (hasta 27,1%) y admixtura proximal en 5  $\phi$  (hasta 26,7%) y la pequeña moda secundaria en la arcilla de 11  $\phi$  (hasta 7%). Por otra parte, en el sector central el limo arenoso es más fino, con una relación arena: limo: arcilla de 13: 62: 25, respectivamente, distribución granulométrica bimodal, con la moda principal en 5  $\phi$  (24,4%), admixtura proximal fina en 6  $\phi$  (20,8%) y la moda secundaria en la arcilla <11 $\phi$  (15,3%). Ambos sedimentos considerados están muy pobremente seleccionados, con curvas muy asimétricas finas y mesocúrticas. La composición del tamaño arena muy gruesa a mediana está representada exclusivamente por restos de conchillas. En la arena fina aún dominan los restos principalmente de ostrácodos con una población subordinada de trizas de vidrio volcánico fresco. La fracción arena muy fina

está conformada por plagioclasa, cuarzo, vidrio volcánico, feldespatos potásicos, líticos volcánicos y escasos minerales pesados, que incrementan sustancialmente en el limo grueso, donde la especie dominante es la magnetita.

Los restos de organismos son abundantes y análogos a los del ambiente actual. Consisten en tejidos vegetales, semillas, fitolitos, girogonites de algas charáceas, valvas de ostrácodos y muy abundantes conchillas de gasterópodos de agua dulce: *Heleobia parcbappei*, *Succinea meridionalis*, *Biomphalaria tenagophila*, *Tropicorbis* sp. y *Pomacea* sp.

Este depósito, situado entre el aluvio suprayacente y el Miembro Río Salado, posee características de ambos sedimentos, pero se diferencia del infrayacente por el color, su escaso contenido en vidrio volcánico y carbonatos y del aluvio por el color y su posición estratigráfica. Doering y Ameghino establecieron una neta separación entre este tipo de depósitos, respecto del superior y del infrayacente, denominándolos formación subaluvial (Doering 1884) y Piso Aimarense (Ameghino 1889), cuya edad asignamos al Holoceno tardío.

### Depósitos del ambiente actual

Los sedimentos colmatantes superiores poseen abundante materia orgánica, colores oscuros y alcanzan su máximo espesor en los sectores de más abrigo, de ahí que hacia el centro de la laguna, con circulación continua, los espesores son mínimos. Esta unidad está conformada por dos secciones. La superior, presente en la mayor parte del lecho lagunar, está representada por un sedimento suspensivoide (flotante) tixotrópico de hasta 0,30 m de espesor, poco consistente y gelatinoso, con 30 a 40 % de materia orgánica y 70 % de arcilla en su mayoría <11φ. Cabe destacar que esta masa subácua al secarse la laguna pasa a formar parte del sedimento infrayacente, tal como sucedió en el verano de 2004/05.

La sección inferior consiste en 0,37 a 0,51 m de sedimentos pelíticos gris oscu-

ros (10YR 4/1) en seco, macizos, sin estructuras, blandos en húmedo y duros a muy duros en seco, con muy abundantes restos de vegetales y conchillas. En esta sección se han reconocido solamente dos tipos texturales: limos arenosos y fangos. En los primeros se observa la siguiente distribución: en la franja costera, salvo el sector sudeste y en las bocas de los arroyos la media gráfica phi (Mz) corresponde a limos medianos y en el sector central al limo fino. Por otra parte, los fangos se encuentran exclusivamente en el sector sudeste de la laguna, carente de circulación.

Los parámetros texturales y estadísticos de los depósitos limo arenosos tienen una relación porcentual media de arena: limo: arcilla de 27:53:20 y distribución granulométrica bimodal en la periferia y polimodal en el sector central. En las muestras de la periferia la moda principal se halla en 4 φ (hasta 38,5 %) y la admixtura proximal en 5 φ (hasta 28,6%) y la pequeña moda secundaria en la arcilla <11 φ (hasta 12%). Los sedimentos están pobre a muy pobremente seleccionados, con curvas muy asimétricas finas y principalmente mesocúrticas. En el sector central, la moda principal se halla en 5 φ (hasta 29,3%) y la admixtura proximal es fina en 6 φ (hasta 18%) y la moda secundaria en la arcilla <11 φ (hasta 12%). Los sedimentos están muy pobremente seleccionados, con curvas muy asimétricas finas y mesocúrticas.

Los parámetros texturales y estadísticos del sector fangoso presentan una relación textural media de arena: limo: arcilla de 8:54:38 y distribución granulométrica polimodal, con la moda principal en la arcilla <11 φ (20 %), la moda secundaria en 8 φ (17%), la tercera en la arcilla de 9 φ (hasta 15 %) y la cuarta en 5 φ (hasta 13%). El sedimento está muy pobremente seleccionado, con curvas asimétricas finas y mesocúrticas.

En la composición mineral de la unidad, en los tamaños arena muy gruesa a mediana (presente solamente en los sectores marginales) predominan los rodaditos de tosca. En la arena fina aparecen los re-

presentantes volcanoclasticos, siendo abundante, pero no dominante el vidrio volcánico, acompañado de plagioclasa, cuarzo, feldespatos potásicos y líticos volcánicos. El vidrio volcánico se presenta en trizas límpidas a alteradas. En la arena muy fina predomina el par plagioclasa-cuarzo y en el limo grueso son relativamente abundantes los minerales pesados, siendo el principal la magnetita.

Los restos de organismos son muy abundantes y consisten en su gran mayoría en raíces, tejidos vegetales y conchillas. Además se encuentran semillas, fitolitos, frústulos de diatomeas, girogonites de algas charáceas, pequeños restos óseos, escamas y vértebras de peces y valvas de ostrácodos. Las conchillas son de gasterópodos de agua dulce: *Heleobia parcbappei*, *Biomphalaria tenagophila*, *Succinea meridionalis*, *Pomacea canaliculata*, *Tropicorbis* sp. y *Ancylus* sp. Los sedimentos de la unidad representan los depósitos de acumulación más reciente, los que se asignan a la Formación Aluvial (Valentín 1898).

### El depósito yesífero

En el lecho lagunar el depósito es remanente y se circunscribe al cuerpo principal y el sector sudoeste. En el cuerpo principal se encuentra en los tres niveles estratigráficos de la Formación Luján (Miembros La Chumbiada, Lobos y Río Salado) y en la Formación La Postrera I, mientras que hacia el sudoeste se halla solamente en el Miembro La Chumbiada y en el piso de la cubeta. Por otra parte, en el montículo de la costa oriental, sobrepuesto a la Formación La Postrera I, está presente en los sedimentos de la Formación La Postrera II y III, con un espesor reconocido de 3 m (Fig. 3).

En los sedimentos colmatantes de la cubeta lagunar, este mineral epigénico, principalmente de tamaño arena (gipsarenita, sensu Warren 1982), se halla alojado en forma intrasedimentaria en los poros de la sucesión clástica hospedante, con diversidad de hábitos cristalinos, texturas, fábricas y estructuras. El yeso se presenta en cristales simples y sus maclas o en

agregados aislados, nódulos en forma de masas friables de agregados de cristales y fragmentos de clivaje. Los cristales simples (discoides) y los agregados aislados (microrrosetas y sacaroides) son las formas más frecuentes.

El área y espesor de sedimentos con yeso se establecieron mediante mapa isopáquico en escala 1:10.000 y los cálculos de superficie y volúmenes correspondientes con programas de computación. La superficie de las acumulaciones yesíferas en la laguna cubre un área de 3,52 km<sup>2</sup>, el volumen de sedimentos con yeso alcanza a 6.712.000 m<sup>3</sup>, el espesor máximo del depósito 3,60 m y el medio 1,91 m. La ley media en el tamaño arena y grava es de 48,8 %, lo que representa un total de casi 7.533.000 de toneladas de mineral. El yeso de montículo costero no ha sido evaluado.

## INTERPRETACIÓN PALEO-AMBIENTAL

Para Tricart (1973) las lagunas pampásicas son formas complejas que se han desarrollado bajo la influencia de las oscilaciones climáticas cuaternarias, cuyos rasgos geomorfológicos no se pueden entender si no se toma en cuenta su evolución en base a dichas oscilaciones.

En nuestro concepto, la génesis de la cubeta primitiva de Cerrillo del Medio es esencialmente eólica y anterior al primer depósito de relleno. En tanto que su modelado responde a la acción combinada de varios procesos, donde, además de la acción deflacionaria del viento, ha participado la erosión fluvial, los fenómenos coluviales y el lavado y retroceso de pendientes. Todos estos procesos han actuado desde el Pleistoceno tardío sobre el valle de un curso fluvial primitivo, labrado en la Formación Ensenada, donde la posterior alternancia de climas secos y húmedos facilitó la acción eólica durante etapas de mayor aridez.

En estas circunstancias repetitivas de deflación-acumulación se amplió dicho valle, hasta transformarse en una cubeta de más de 6 m de profundidad, en la cual

funcionaron sucesivos ambientes acuáticos y uno terrestre. Durante las etapas de clima seco, el fenómeno dominante fue la exondación por deflación, en menor cuantía la ampliación. En las de mayor humedad, que incluye el clima actual, predominaron los procesos fluviales y lacustres que modelaron dicho vaso hasta transformarlo en la cubeta que contiene la laguna actual.

Los testimonios de los hechos geológicos señalados abarcan el intervalo pleistoceno tardío-actual y se encuentran registrados en los depósitos del lecho y en las barrancas y montículos de la laguna, a modo de una sucesión de ciclos alternantes, secos y húmedos. Las etapas secas se caracterizaron por deflación, precipitación de sales (principalmente yeso) y acumulación de depósitos eólicos intra y extracuencales; en tanto las húmedas por aluvionamiento en los sucesivos ambientes acuáticos y pedogénesis. La analogía de estos hechos con los conceptos de biostasia y rexistasia expresados por Erhart (1956) es palmaria. El cuadro 1 resume esta sucesión climática en el tiempo, plasmada en las distintas unidades estratigráficas presentes en Cerrillo del Medio y sus relaciones con los esquemas creados por otros autores.

La roca de base del paisaje actual y el sustrato de la cubeta es del Pleistoceno medio. Según Frenguelli (1957) dicha época geocronológica se caracterizó por clima húmedo, procesos fluviales y formación de valles, mientras que el Pleistoceno superior representó una larga etapa de aridez, caracterizada por intensas acciones eólicas, deflación, excavación de cubetas, calcificación, salinización y acumulación de loess. Los depósitos de dicho loess están representados por la Formación Buenos Aires (Riggi *et al.* 1986), los que se acomodaron al relieve previamente elaborado y su edad, de acuerdo a Iriondo y Kröhling (1995 y 2007) e Iriondo (1999), superaría holgadamente los 64 ka y se corresponde con el estadio isotópico IS4, representado por clima frío y seco en las llanuras argentinas y avance de clima patagónico unos 1500 km al noreste de su

posición actual. Sancetta *et al.* (1973) sitúan al IS4 entre los 56 y 75 ka; en tanto, para Goudie (1992) el comienzo del último glacial es a los 60 ka, destacando que el período frío inicial duró solamente unos pocos miles de años. Observación ésta doblemente compatible con la amplia distribución del loess bonaerense y su escaso espesor general en la cuenca del río Salado de Buenos Aires.

A esta etapa de aridez siguió un período de estabilidad con clima húmedo, que posibilitó la pedogénesis del loess de la Formación Buenos Aires, con desarrollo de potentes horizontes argílicos, representados por el Geosuelo Sin Nombre de Fidalgo *et al.* (1973) y además el funcionamiento de ambientes acuáticos, en cuyo seno se acumularon los primeros depósitos del registro paleolimnológico de dichas cubetas, tal como en Cerrillo del Medio, asignables a la Formación Luján, Miembro La Chumbiada del Pleistoceno tardío (Dillon y Rabassa 1985). Iriondo y Kröhling (1995 y 2007) refieren este nivel estratigráfico al estadio isotópico IS3, la pedogénesis al S4, condiciones de clima cálido y húmedo y le asignan una edad entre < 64 y 36 ka. Al respecto, Iriondo (1999) menciona para sedimentos fluviales del IS3 una edad TL de 45.610 ± 1990 años AP. Cabe destacar que la parte cuspidal de este miembro fue datada en otras localidades de la cuenca del río Salado en unos 30 ka (Figini *et al.* 1996, Tonni *et al.* 2003). Sin embargo, estos últimos autores descartaron dicha datación (LP 621) por considerarla dudosa.

De nuevo aparece en la columna geológica una etapa de aridez. Este evento climático afectó la cubeta lagunar, produciendo desecación, salinización, precipitación de yeso y acciones eólicas. La evidencia de este episodio climático se encuentra en el sector oriental de la cubeta sobrepuesto al Miembro La Chumbiada, formando un depósito eólico intracuenca, constituido esencialmente por pellets de arcilla, floculados en partículas de tamaño arena y acumulados como duna de arcilla. Este primer episodio climático seco posbonaerense también está represen-

tado en otros sitios de la cuenca del río Salado como depósitos eólicos intra-cuencales en lechos lagunares (Dangavs *et al.* 2003) o aflorantes (Dangavs 2005a). Estos sedimentos, situados entre los Miembros La Chumbiada y Lobos de la Formación Luján, provienen de la deflación del Miembro La Chumbiada y representan a la Formación La Postrera I del Pleistoceno tardío (Dangavs 2005a). De acuerdo a su posición estratigráfica y basándonos en Iriondo y Kröhling (1995 y 2007) e Iriondo (1999), este nivel estratigráfico se asigna al estadio isotópico IS2, fase climática D4-L4, el que se puede situar entre  $< 36 > 18$  ka y estaría representado por clima frío y seco del último maxi-glacial.

Encima de los anteriores se encuentra otro depósito paleolímpico, correlacionable con el Miembro Lobos de la Formación Luján del Pleistoceno tardío-tardío (Dangavs y Blasi 2003), portador de una mayoría de restos de ambiente dulciacuícola, así como de una tanatocenosis de abolengo marino de origen atalásico. Cabe destacar que dicha tanatocenosis representa un halobios, relacionado con el clima más seco inmediato posterior (véase el párrafo siguiente). Para Iriondo y García (1993) e Iriondo (1999) este evento cálido y húmedo representa el Allerod del hemisferio norte y corresponde a la fase final del IS2 y la pedogénesis al S3, con una edad próxima a los 18 ka.

A continuación se instauró una nueva etapa climática seca, donde el ambiente dulciacuícola previo se transformó en un lago salado (sabhka), sujeto a períodos de desecación, precipitación de yeso, pelletización y deflación de los sedimentos del lecho y su acumulación en el borde oriental de la cubeta en forma de duna de arcilla. Este segundo depósito eólico posbonaerense está representado por la Formación La Postrera II del Pleistoceno tardío-tardío al Holoceno temprano (Dangavs 2005a), proveniente de la deflación del Miembro Lobos. Estas acumulaciones fueron denominadas Platense eólico por Frenguelli (1945) y según Iriondo (1999), este nivel estratigráfico, represen-

ta la fase climática árida y fría del D3-L3 y en forma aproximada al *Younger Dryas*, cuya edad abarca el intervalo entre  $< 18$  y 8,5 ka.

Con posterioridad se produjo un nuevo ciclo húmedo, durante el cual se acumuló el tercer depósito léntico y simultáneamente se concretó la pedogénesis de la Formación La Postrera II, representada por el Geosuelo Puesto Callejón Viejo (Fidalgo *et al.* 1973), datado por Figini *et al.* (2003) en  $5.870 \pm 50$  años AP. Por otra parte, los depósitos de este ciclo húmedo representan un ambiente dulciacuícola lagunar a palustre calcáreo, que se correlaciona con la Formación Luján, Miembro Río Salado de Fidalgo *et al.* (1973) de edad holocena temprana a media, cuya acumulación, en gran parte, debe haber sido sincrónica con la ingresión marina holocena del área costera bonaerense. La duración de este episodio podría abarcar el intervalo que media entre el límite pleistoceno/holoceno hasta la regresión marina. Sin embargo, los distintos autores tienen criterios dispares al respecto. Así, para Iriondo y García (1993) este nivel estratigráfico representa la etapa cálida y húmeda del estadio isotópico IS1 y pedogénica S2, que se desarrolló entre 8,5 y 3,5 ka, correspondiente al período climático hypsithermal; en tanto, para Prieto *et al.* (2004) la depositación del Miembro Río Salado se inició entre los 11 y 10 ka y finalizó entre los 3,4 y 2,7 ka.

A partir del Holoceno tardío se produjeron otros episodios climáticos alternantes, dos secos y dos húmedos, siendo el último el más breve y representa al tiempo actual. De todos estos fenómenos han quedado registros en el lecho lagunar y en los montículos de la costa. El primer episodio se caracterizó por clima seco, el que en la cubeta estudiada se manifestó por precipitación de yeso en el lecho y acumulación de sedimentos eólicos y yeso clástico en la costa. Este depósito de aspecto loésico representa a la Formación La Postrera III del Holoceno tardío (Dangavs 2005 a), que se corresponde con la fase climática D2-L2 de clima sub-

tropical seco, datada entre 3,5 y 1,4 ka (cf. Iriondo 1999).

La siguiente etapa más húmeda, representa una época de estabilidad, con funcionamiento del ambiente acuático y formación de suelos, durante la cual se acumuló otro depósito subacuático, el que se asigna a la formación subaluvial de Doering (1884), equivalente al Piso Aimarense de Ameghino (1889) que, de acuerdo a los criterios sustentados por Iriondo y García (1993), Iriondo y Kröhling (1995) e Iriondo (1999), se correspondería con la etapa cálida y húmeda del máximo medieval S1 entre los 1,4 y 0,7 ka, durante la cual se produjo la pedogénesis de la Formación La Postrera III. El suelo correspondiente fue denominado Geosuelo Puesto Berrondo por Fidalgo *et al.* (1973).

La última etapa seca registrada en la región fue de menor duración e intensidad que la anterior. Durante la misma hubo desecación, deflación, rejuvenecimiento de cubetas y acumulación eólica. En su transcurso se depositaron los limos arenosos más recientes, los que, debido al escaso lavado del suelo por la aridez, aunado al efecto de trampa que ejerce el relieve llano, produjo la concentración de sales y álcalis, sobre todo en las zonas de los valles, que aún persiste. En esta región el episodio se caracterizó por la deflación de acumulaciones del lecho, que junto con otros materiales provenientes de zonas más lejanas se depositaron en forma de manto sobre las formaciones infrayacentes. Este depósito eólico se asigna a la Formación La Postrera IV (Dangavs 2005a), que se correlaciona con la fase climática D1-L1, denominada pequeña edad de hielo, que diversos autores sitúan entre 0,8 y 0,2 ka (cf. Iriondo 1999).

La etapa final nos sitúa en el presente y se caracteriza por la estabilidad climática en régimen húmedo, permitiendo el funcionamiento de los distintos ambientes acuáticos, cuyos depósitos se denominan colectivamente formación aluvial (Valentín 1898). Asimismo, este régimen es el que posibilita el desarrollo y evolución

de los suelos actuales a expensas del loess de la Formación La Postrera IV y ocasionalmente también en la Formación La Postrera III y el aluvio reciente. La edad que se le asigna a los depósitos aluviales apenas supera los 200 años.

## CONCLUSIONES

En la investigación paleolimnológica el estudio de los sedimentos colmatantes resulta esencial para la reconstrucción paleoambiental. Sin embargo, se observa como limitación mayor la ausencia de un registro suficientemente continuo, lo que hace necesario recurrir al estudio de los depósitos terrestres conexos, combinando la información de ambas fuentes para establecer directa o indirectamente la sucesión de los hechos geológicos ligados al paisaje lagunar. De esta manera se ha podido establecer la historia geológica de la cubeta desde el Pleistoceno superior a la actualidad.

La sucesión de los hechos geológicos se encuentra registrada en los 4,8 m de sedimentos colmatantes y en los depósitos de la periferia lagunar, los que reflejan los significativos cambios climáticos que han sucedido en la cuenca durante los últimos 70 ka. En ese lapso, sobre el sustrato de la Formación Ensenada, se han producido cinco episodios de clima seco que abarcan desde el loess bonaerense hasta la pequeña edad de hielo y otros tantos de clima húmedo posbonaerenses, que incluye al del tiempo actual.

Los episodios de clima seco quedaron materializados en cinco depósitos eólicos, correspondientes a las Formaciones Buenos Aires y La Postrera I, II, III y IV. La Formación Buenos Aires representa el IS4, la Formación La Postrera I el IS2, fase climática D4-L4, La Postrera II la fase climática D3-L3, La Postrera III el D2-L2 y La Postrera IV al D1-L1.

Por otra parte, el registro de los ciclos húmedos se encuentra en los depósitos de la cubeta y como paleosuelos en las barrancas y montículos de la costa. Así, en el espesor colmatante se han reconocido, además del ambiente actual, cuatro

paleoambientes acuáticos y en la periferia lagunar tres paleosuelos (S4, S2 y S1). A las etapas de clima húmedo corresponden los siguientes depósitos de edad decreciente: el Miembro La Chumbiada y el Geosuelo Sin Nombre, que representan el IS3 y el S4, el Miembro Lobos a la fase final del IS2 y S3, el Miembro Río Salado o Hypsithermal y el Geosuelo Puesto Callejón Viejo al IS1 y el S2, la Formación Subaluvial y el Geosuelo Puesto Berrondo al S1 y la Formación Aluvial al tiempo actual.

La presencia de yeso y pellets de arcilla en varios niveles estratigráficos de la cubeta y los restos de organismos de abo-lengo marino en el Miembro Lobos, son evidencias suplementarias de las etapas de aridez, donde dicho ambiente funcionó como un lago salado tipo playa o sabkha, generatriz de los materiales que alimentarían los depósitos eólicos costeros de la Formación La Postrera.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su reconocimiento al Ing. Gustavo Wouters por la colaboración brindada, que permitió la concreción de las tareas de campo; al Lic. Leonardo R. Pierrard por su participación en las mismas; a la Asociación Cooperadora CA.PE.TI.NA. del Ministerio de Asuntos Agrarios por el generoso préstamo de una lancha con motor fuera de borda, a la Comisión de Investigaciones Científicas por la financiación de este proyecto (subsídios Res. 694/04 y 044/05) y a los árbitros, cuyas sugerencias y comentarios contribuyeron a mejorar el manuscrito.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Ameghino, F. 1889. Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Actas 6, 1028 p., Córdoba.
- Carver, R. (ed.) 1971. Procedures in Sedimentary Petrology. J. Wiley 653 p., New York.
- Dangavs, N. 2005 a. La Formación La Postrera I, II, III y IV de la Laguna Las Barrancas de Chascomús, provincia de Buenos Aires. 16°

Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 115-122, La Plata.

Dangavs, N. 2005 b. Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. En de Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé, M. y Llambías, E. (eds.) 16° Congreso Geológico Argentino, Relatorio 13: 219-236, La Plata.

Dangavs, N. 1979. Presencia de dunas de arcillas fósiles en la Pampa Deprimida. Revista de la Asociación Geológica Argentina 34(1): 31-35.

Dangavs, N. y Blasi, A. 2003. El Miembro Lobos de la Formación Luján: Cambio de rango de la Fm. Lobos, unidad estratigráfica del Pleistoceno superior de la cuenca del río Salado de la provincia de Buenos Aires. Segundo Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 67-74, San Miguel de Tucumán.

Dangavs, N., Pierrard, L. y Reynaldi, J. 2003. Paleolimnología del río Salado entre los meridianos de 58o y 60o, provincia de Buenos Aires. 2° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 75-86, San Miguel de Tucumán.

Dillon, A. y Rabassa, J. 1985. Miembro La Chumbiada, Formación Luján (Pleistoceno, provincia de Buenos Aires): Una nueva unidad estratigráfica del valle del río Salado. Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses, Resúmenes: 27, Tandil.

Doering, A. 1884. Estudios hidrognósticos y perforaciones artesianas en la República Argentina. Boletín Academia Nacional de Ciencias 6: 259-340, Córdoba.

Erhart, H. 1956. La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Masson et Cie., 178 p., Paris.

Fidalgo, F. De Francesco, F. y Colado, U. 1973. Geología superficial en las hojas Castelli, J. M. Cobo y Monasterio, provincia de Buenos Aires. 5° Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 27- 39, Carlos Paz.

Figini, A., Carbonari, J. y Huarte, R. 2003. Geosuelo Puesto Callejón Viejo. Su posición cronológica y relación con eventos paleoclimáticos y paleoambientales. 2° Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas: 93-100, San Miguel de Tucumán.

Figini, A., Fidalgo, F., Huarte, R., Carbonari, J. y Gentile, R. 1996. Cronología radiocarbónica de los sedimentos de la Fm. Luján en el arro-

- yo Tapalqué, provincia de Buenos Aires. 4º Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas 1: 119-126, Junín.
- Folk, R. 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill's, 170 p., Austin.
- Frenguelli, J. 1945. El piso Platense. *Revista Museo La Plata (Nueva Serie), Sección Geología* 2: 287-311.
- Frenguelli, J. 1957. Neozoico. En: *Geografía de la República Argentina*. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA) 2, 3ra. parte: 1-113, Buenos Aires.
- Goudie, A. 1992. *Environmental change*. Clarendon Press, 3ra. edición, 329 p., Oxford.
- Hutchinson, E. 1957. *A treatise of Limnology. Geography, physics and chemistry*, J. Wiley, 1, 1015 p., New York.
- Iriondo, M. 1999. Climatic changes in the South American plains: Record of a continental-scale oscillation. *Quaternary International* 57/58: 93-122.
- Iriondo, M. y Kröhling, D. 2007. Geomorfología y sedimentología de la cuenca superior del río Salado (sur de Santa Fe y noroeste de Buenos Aires, Argentina). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 14(1): 1-23.
- Iriondo, M. y Kröhling, D. 1995. El sistema eólico pampeano. *Comunicaciones Museo Provincial de Ciencias Naturales* 5(1): 1-68, Santa Fe.
- Iriondo, M. y García, N. 1993. Climatic variations in the Argentine plains during the last 18,000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 101: 209-220.
- Prieto, A., Blasi, A., De Francesco, C. y Fernández, C. 2004. Environmental history since 11,000 yr B.P. of the northeastern Pampas, Argentina, from alluvial sequences of the Luján River, *Quaternary Research* 62: 146-161.
- Riggi, A. 1935. Corte geológico del río Salado (Buenos Aires) y su significación en el diastrofismo pampeano. *Physis* 11: 399-403.
- Riggi, J., Fidalgo, F., Martínez, O. y Porro, N. 1986. Geología de los "Sedimentos Pampeanos" en el partido de La Plata. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 41(3-4) : 316-333.
- Sancetta, C., Imbrie, J., Kipp, N. 1973. Climatic record of the past 130,000 years in North Atlantic deep-sea core V23-82: Correlation with the terrestrial record. *Quaternary Research* 3: 110-116.
- Tapia, A. 1935. Pilcomayo. Contribución al conocimiento de las llanuras argentinas. Dirección de Minas y Geología Boletín 40, 140 p., Buenos Aires.
- Teruggi, M. 1984. *Diccionario sedimentológico. Volumen II: Rocas aclásticas y suelos*. Ediciones Científicas Argentinas Librart, 236 p., Buenos Aires.
- Tonni, E., Huarte, R., Carbonari, J. y Figini, A. 2003. New radiocarbon chronology for the Guerrero Member of the Luján Formation (Buenos Aires, Argentina): palaeoclimatic significance. *Quaternary International* 109/110: 45-48.
- Tricart, J. 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida. Colección Científica del INTA 12, 202 p., Buenos Aires.
- Valentín, J. 1898. Bosquejo geológico de la Argentina. Segundo Censo Nacional 1895. Parte geológica: 61-109, Buenos Aires.
- Warren, J. 1982. The hydrological setting, occurrence and significance of gypsum in late Quaternary salt lakes in South Australia. *Sedimentology* 29: 609-637.

Recibido: 10 de mayo, 2007

Aceptado: 22 de noviembre, 2007