

## GEOLIMNOLOGÍA Y PALEOLIMNOLOGÍA DE LA LAGUNA ADELA, CHASCOMÚS, BUENOS AIRES, ARGENTINA

Nauris V. Dangavs<sup>1</sup> y María L. Mormeneo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>IGS-CISAUA, calle 3 n° 584, (1900), La Plata. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.  
nauris@igs.edu.ar

<sup>2</sup>Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, CIC.

**RESUMEN.** Se caracterizó someramente el medio físico, las características climáticas, fisiográficas, rasgos geomorfológicos y suelos. Asimismo, se definieron los parámetros morfométricos, la fisico-química y tipificación del agua lagunar, la interrelación con el agua subterránea, la dinámica acuática, la población de macrófitas invasoras, y las medidas correctivas de mantenimiento. Siete unidades estratigráficas cuaternarias afloran en las escarpas de la laguna; de abajo hacia arriba: Fm. Ensenada, Fm. Buenos Aires, Fm. La Postrera III, Fm. La Postrera IV, Geosuelo "Sin Nombre", Geosuelo Puesto Berrondo y, por último, en las costas más bajas de la periferia, el Aluvio actual, que adquiere su mayor representación en el lecho lagunar. Los sedimentos colmatantes fueron evaluados mediante once perforaciones, reconociéndose cinco unidades litoestratigráficas superpuestas al lecho primitivo, excavado en la Formación Ensenada y que abarcan el lapso Pleistoceno tardío-Actual. La superior corresponde al Aluvio actual; la segunda a depósitos fangosos palustres calcáreos del Holoceno temprano a medio de la Formación Luján, Miembro Río Salado; la tercera, a sedimentos lacustres salobres yesíferos del Pleistoceno tardío-tardío de la Formación Luján, Miembro Lobos; hacia abajo pasan a la cuarta que corresponde a acumulaciones eólicas de duna de arcilla de la Formación La Postrera I del Pleistoceno tardío; finalmente, el depósito inferior, constituido por sedimentos de ambiente dulciacuícola, que es asignable a la Formación Luján, Miembro La Chumbiada del Pleistoceno tardío. La cubeta fue excavada durante las acciones eólicas del Pleistoceno tardío. Posteriormente se sucedieron varios cambios climáticos, representados por 5 episodios húmedos, que incluyen el húmedo actual y 4 secos que abarcan desde el Máximo Glacial a la Pequeña Edad de Hielo. Los episodios secos están representados por depósitos eólicos y evaporíticos, y los húmedos por los sucesivos depósitos de ambientes acuáticos y pedogénesis.

**Palabras Clave:** Cuaternario, Geo/paleolimnología, Provincia de Buenos Aires, Cuenca del río Salado, Chascomús.

**EXPANDED ABSTRACT. Geolimnology and paleolimnology of Laguna Adela, Chascomús, Buenos Aires, Argentina.**

The Laguna Adela, a shallow lake with a surface of 20.85 square kilometers is situated in the northeast of the Buenos Aires Province in Chascomús District. The geographic coordinates of the lake center are: Lat. 35° 41' 30" S. and Long. 57° 59' 10" W. This region is characterized by considerable superficial aquatic resources belonging to the Salado and Samborombón Rivers drainage basins. The "Laguna Adela" represents the third chain link of the fluvio-lacustrine "Lagunas Encadenadas" system, tributary of the Salado River. The region's climate is temperate humid, with average annual temperature of 15.6° C, with mild winters and hot summers. Average rainfall in Chascomús is 920.2 mm/year (period 1888/2003), evenly distributed throughout the year. Whereas for periods of greater humidity (1980/02), this value increases to 1124 mm/year, coincident with the greater floods registered in the region. The region is a loess plain of gentle relief with a very slight slope to southeast (average slope 0.05 %), although locally can reach values between 0.3 and 0.4 %. It possesses very scarce low-altitude heights, blanketed by holocene eolian deposits. The greater altitude of this area is 14.6 ms above sea level, the minor in the lake bed at 4.95 ms and the average altitude of the region is 9.8 meters. The main lakes tributary is the Arroyo Girado, 3.6 km long, effluent of the Laguna Chascomús and the lakes outflow stream is the 7 km long Arroyo Manantiales, tributary of the Laguna Chis-Chis. Also, there was defined the lacustrine body morphological parameters, the physical-chemical characteristics and the water typology and pollution, pointing out the interrelation of groundwater with the water body. The lake basin is located in a depression made up by the combined action of several processes, being the main ones the wind deflationary action, fluvial erosion, slope washing and backward movement. All these processes have acted from the Late Pleistocene on the primitive valley, excavated in Early to Middle Pleistocene sediments of the Ensenada Fm., where the later alternation of dry and humid climates, facilitate the deflationary action during stages of greater dryness. In these repetitive circumstances of deflation-accumulation-deflation the valley was enlarged, until transforming it into a basin of 9 to 10 meters depth, in which they worked, moreover of the present environment, diverse aquatic paleoenvironments and a terrestrial one. The geomorphological system of the "Lagunas Encadenadas of Chascomús-Lezama drainage basin" is integrated by two contrastant units, i.e., the fluvio-lacustrine dominion and the silty eolian accumulation plain. In the first geomorphic unit the main elements are stream channels, lentic basins (the one is that of the "laguna"), marshes, alluvial planes, the colluvium accumulations and the anthropic forms (channels, ditches, trenches, road and railroad embankments, bridges and culverts, roads, routes and hamlets). In the second one, the elements are more scarce and they correspond to erosion-accumulation forms, such as eolian micro and mesodepressions, marshes, erosive gentle hillocks, the geomorphic elements of edaphic origin (alkalinity, hydromorphism) and the anthropic ones, already mentioned. Seven stratigraphic units were recognized from bottom to top at the lake coastal perimeter erosion scarps. The oldest one is made up by sandy silts and intraformational conglomerates of the Ensenada Fm of Early to Middle Pleistocene age, which constitutes the regional substrate. It is overlain in disconformity by the loessic sediments of the Buenos Aires Fm of Late Pleistocene age. Upwards the unit ends in the Sin Nombre Geosol, which conforms the third stratigraphic unit of the region. The fourth one is represented by a loess like deposit, which conserves in the cusp a paleosol. This lithostratigraphic unit is correlated with the La Postrera III Fm of the Middle to Late Holocene and the paleosol with the Puesto Berrondo Geosol of the Late Holocene. Finally at the lake scarp top crops out the eolian sediments of the La Postrera IV Fm of Upper Late Holocene age, where the present soils are developed,

whereas in the lower coastal sectors and in beaches, the sedimentary cover is represented by recent deposits, denominated collectively Alluvium, integrated by accumulations barely selected of sandy gravel and muddy sands, that intermingle with lake muds. The infilling lake sediments were studied by 11 boreholes and 80 auger samples and their textural, statistical parameters and mineralogical characteristics were assessed as well as their bioclastic content. Five well defined lithostratigraphic units were recognized over the primitive basins bed. The upper unit is made up of greyish pelitic sediments assigned to the present freshwater body; they are underlain by gray to dark gray palustrine marly muddy sediments with very abundant freshwater organism rests and volcanic ash shard lenses. This unit is correlated with the Luján Fm, Río Salado Member of the Early to Middle Holocene age. The third unit is composed of greenish sandy silts from a brackish water environment with mixohaline and freshwater remains, correlated with the Luján Fm, Lobos Member of the Upper Late Pleistocene. The fourth unit is a clay dune intrabasinal deposit, constituted by green olivaceous clay pellets, flocculated in coarse to very fine sand size particles, that were accumulated as lunettes by eolian action, during an episode of dryness, that could be located in the Late Pleistocene and correlate with the La Postrera I Fm. The fifth unit is made up of pale brownish sandy silts with freshwater remains, assigned to the Luján Fm, La Chumbiada Member of the Late Pleistocene. Until 1980 the invading macrophytal populations reached 88.7% of the lakes surface. Since 1981 the water weeds experienced a significant backward movement and even submerged vegetation has disappeared. This phenomenon could be related to the nutritional facts of the invading fish species *Cyprinus carpio*, which appears in the zone with the 1980 flooding. Finally the origin and evolution of the lacustrine basin, the water bodies hydrological regime and the water dynamics were also briefly characterized.

**Key words:** *Quaternary, Geo/Paleolimnology, Pampean shallow lakes, Buenos Aires Province, Salado River drainage basin.*

## Introducción

La región que abarca los partidos de Chascomús y Lezama se caracteriza por importantes recursos acuáticos superficiales, integrando las cuencas de los ríos Salado y Samborombón. De los tributarios del río Salado, el sistema fluvio-lacustre de las “Lagunas Encadenadas de Chascomús-Lezama” es el más significativo, constituido por siete lagunas de gran magnitud y relevancia, *i.e.*: Vitel, Chascomús, Adela, Del Burro, Chis-Chis, La Tablilla, Las Barrancas y cinco cursos que encadenan el sistema, los arroyos Vitel sur, Girado, Manantiales, Tablillas y Casalins.

La laguna Adela, no obstante ser mencionada en numerosos trabajos e informes, carece de antecedentes geológicos o geolimnológicos. Hasta ahora, la única descripción proviene de un breve artículo periodístico de Adrogué & Olivier (1956). En esta contribución damos a conocer un aporte al conocimiento del medio físico reciente de este “lago playo” de la pampasia meridional (*sensu* Dangavs 2005a), así como la secuencia de los hechos geológicos y paleoclimáticos que generaron el recipiente que la aloja y su posterior colmatación, durante los sucesivos ambientes acuáticos y uno terrestre que funcionaron en la cubeta lagunar, tal como lo indica su registro sedimentario. Esta investigación preliminar sienta las bases para futuras investigaciones interdisciplinarias de mayor detalle dirigidas a la conservación y manejo del tercer eslabón de esta cadena lagunar, estando el primero dedicado a la laguna Vitel (Dangavs & Merlo, 1993) y el segundo a la de Chascomús (Dangavs *et al.*, 1996).

## Material y métodos

La estadística pluviométrica utilizada abarca 116 años (1888/2003). La del período 1888/1986 corresponde a datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), procesados por el Ministerio de Obras y Servicios Públicos (MOSP) de la provincia de Buenos Aires y la del período de 1987/2003 a registros de la Sociedad Rural de Chascomús. La temperatura del aire se estableció a base del Atlas Climático del SMN (1960) e interpolación entre las estaciones Dolores, La Plata y Punta Indio (SMN, 1969, 1985, 1986 y 1992), cuyo conjunto abarca el período 1901/90.

Las características físico-químicas del agua lagunar se determinaron a base de datos históricos (1956/66) y recientes (2004). Los análisis de las muestras aportadas en el presente trabajo fueron realizadas por el Laboratorio C & D de La Plata.

La base cartográfica consistió en el mapa en escala 1:5.000 de planimetría acotada, batimetría y vegetación emergente, realizado en 1966 (Dangavs, 1967), actualizado y reducido a escala 1:20.000 en 1980 y re-actualizado en el 2000. De ahí que la reducción que aparece en el trabajo es fidedigna y factible de ser ampliada hasta el tamaño original (1:5.000). Asimismo, se utilizaron fotografías aéreas de 1966 del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en 1:20.000, mapas topográficos e imágenes satelitales del Instituto Geográfico Militar (IGM) en 1:50.000 (edición 1966 y 1996, respectivamente), y la carta parcelaria y rural de la Dirección de Geodesia de Buenos Aires en 1:25.000 (edición 1989).

Para el estudio de los depósitos colmatantes, se realizaron once perforaciones someras en el lecho lagunar hasta alcanzar el piso primitivo de la cubeta, así como observaciones y muestreos a lo largo de las escarpas de erosión de la laguna (barrancas) y en los cursos de agua relacionados. La ubicación de los sondeos se realizó por posicionamiento satelital (GPS). Para el estudio sedimentológico, que consistió en el estudio megascópico, textural, estadístico y mineralógico, se analizaron 80 muestras. Para el tamizado y pipeteo se utilizó la metodología expuesta en 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). La mineralogía de gravas, arena y limo grueso fue determinada en microscopio binocular y petrográfico. Los restos de moluscos y foraminíferos fueron identificados por microscopía binocular.

Para caracterizar los parámetros morfométricos se consideraron las medidas, relaciones e índices más significativos en los estudios geolimnológicos.

## Características generales del área de la Laguna Adela

### Situación geográfica y accesos

La laguna Adela es un ambiente fiscal situado al oeste de la Ruta 2, en el partido de Chascomús, región noreste de la provincia de Buenos Aires (Figuras 1, 2 y 3). Las coordenadas geográficas del centro lagunar son: 35° 41' 30" Sur y 57° 59' 10" Oeste. La superficie en cota 7,00 m.s.n.m. es de 20,85 km<sup>2</sup> (Dangavs, 1967). Las vías de acceso actuales son exclusivamente por caminos internos de establecimientos rurales, tanto desde la Ruta Nacional 2, como por la estancia Manantiales, en el camino de tierra de Chascomús a Pila. La denominación original de la laguna era "de los Manantiales", "*por haberlos muchos en el lugar y abastecedores de la laguna*" (Burnet-Merlin, 1954). La denominación actual proviene del nombre de la estación del ferrocarril.

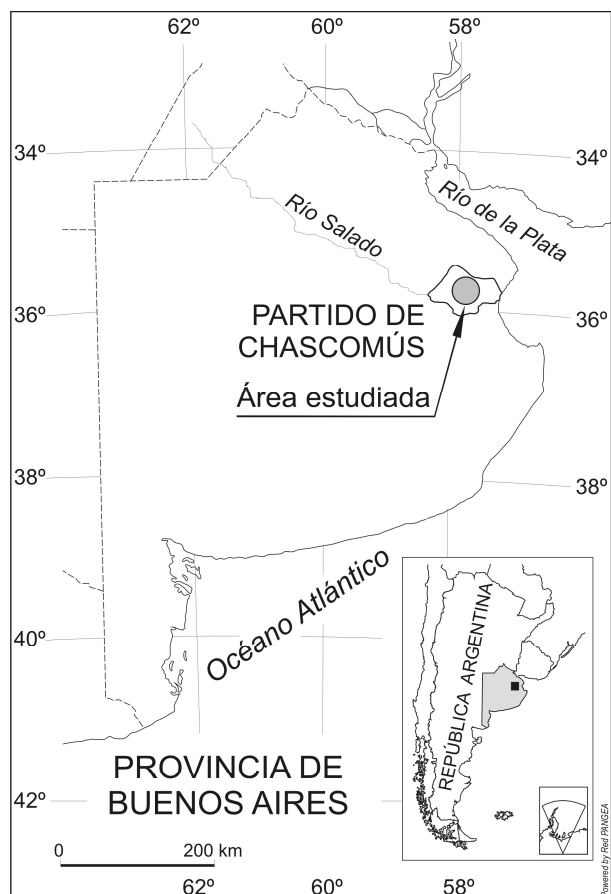


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

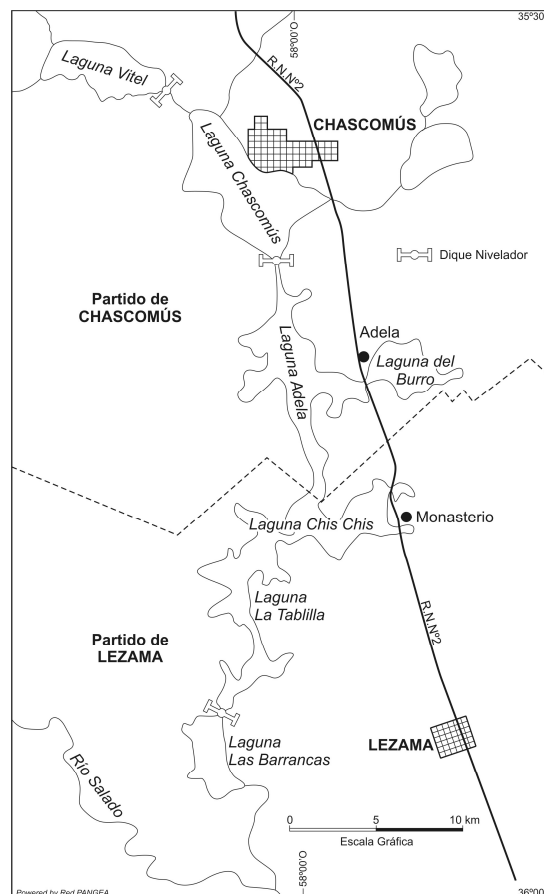


Figura 2. Croquis del sistema de "Lagunas Encadenadas de Chascomús-Lezama".

## Clima

La región se halla situada en la zona de América del Sur de clima lluvioso y moderadamente cálido, con inviernos suaves y veranos algo calurosos, siendo la característica del clima principal el templado húmedo y zona climática de transición al cálido (sic, Köppen & Geiger, 1954). Las lluvias en la región son abundantes y de distribución bastante regular, pero variables en cantidad/año. Las normales de 116 años en Chascomús (período 1888/2003) alcanzan a un promedio de 920,2 mm/año, con una media mensual de 76,7 mm, siendo el máximo y mínimo registrado en la zona de 1764 mm en 1993 y 168 mm en 1893, respectivamente. El período de mayor humedad en la cuenca registró entre 1980 y 2002, representado por un notorio incremento de las precipitaciones. Así, a partir de la media anual de 880,6 mm del período 1888/1979, asciende bruscamente a 1124 mm en el lapso 1980/2002, lo que representa un incremento de 22,1% respecto de la media histórica, coincidentes con las mayores inundaciones registradas de la región.

En general, en todos los meses del año se producen precipitaciones, siendo el otoño la época más lluviosa (30,7% del valor anual). Los meses más secos son los del invierno (16,9%), y las lluvias de primavera y verano son abundantes (25,8 y 26,6%, respectivamente). Hasta 1979, el mes más lluvioso era marzo (con 105 mm de promedio) y el más seco julio (con 52 mm). Entre 1980 y 2003 se produjo el corrimiento del mes más lluvioso a abril, con 130 mm, y la presencia de lluvias mayores a 100 mm a lo largo de siete meses del año. Por otra parte, las lluvias de invierno se han mantenido prácticamente constantes en todo el período analizado.

La temperatura media anual es de 15,6° C (promedio 1901/90). El mes más frío es junio, con 9,2° C de media y el más cálido enero, con una media de 22,4° C. La temperaturas máximas absolutas de la

región se sitúan entre 40 y 45° C, y las mínimas absolutas entre -5° y -10° C. Los días con heladas son frecuentes desde el mes de mayo hasta septiembre inclusive. El promedio anual es de 25 heladas, siendo julio el mes con el mayor número de ellas (8).

No existen registros anemométricos en la zona, interpolándose como más próximos los datos de la estación Dolores del SMN. Este parámetro es determinante de bruscas oscilaciones térmicas y frecuentemente se asocia con las precipitaciones. Los vientos dominantes son del sector norte y del cuadrante sud/sudoeste (Pampero). El viento norte es el más frecuente en la región, haciendo sentir sus efectos principalmente en los meses de primavera/verano e incluso puede estar presente durante todo el otoño. En cualquier época del año, cuando sopla el viento norte se eleva la temperatura y humedad ambiente. El viento sud/sudoeste se caracteriza por ser seco y fresco, haciendo descender rápidamente la temperatura y la humedad. Es el viento con mayor velocidad media en la región (20 km/h), soplando generalmente después de las lluvias. Los días sin viento son escasos en el promedio anual, siendo diciembre y junio los meses de mayor y menor ventosidad respectivamente.

### **Fisiografía, geomorfología y suelos**

La laguna pertenece a los tributarios de la margen izquierda del río Salado, cuya cuenca de aporte abarca una extensión de 989 km<sup>2</sup>. De esta cuenca, 801 km<sup>2</sup> (la cuenca alta) corresponden a las lagunas Vitel y Chascomús, 99 km<sup>2</sup> a la laguna Del Burro, y sólo 89 km<sup>2</sup> son de sus afluentes directos. Ellos están representados al norte, por el arroyo Girado, curso permanente de 3,6 km, efluente de la laguna Chascomús, y al este, por un corto cauce de unos 100 m, efluente de la laguna Del Burro, el que en estiaje se seca, debido al dique nivelador (tajamar) que embalsa esa laguna. Los afluentes restantes son ocho pequeños cursos efímeros colectores de los excesos pluviales, siete naturales y uno artificial. De los naturales, tres han sido prolongados mediante canalizaciones. Uno de ellos, de 6,5 km de longitud, desagüa en la costa noreste y drena el sector al este de la Ruta 2, siendo además colector de las cunetas de dicha ruta. Los otros dos desagüan en el brazo Manantiales; el primero de 5 km de extensión al sur de la estancia Manantiales, y el segundo, de 7,3 km de largo, al norte de dicha estancia. Este último curso está canalizado y constituye el desagüe de un amplio sector anegable con bajos, microcubetas y una mesocubeta de 50 ha en proximidades de la estancia San Severiano.

El emisario de la laguna Adela es el arroyo Manantiales, denominado “laguna Arroyo Manantiales” en la cartografía IGM, se sitúa en su extremo sur y comunica con la laguna Chis Chis. Posee un ancho medio de 500 m y una extensión de casi 6 kilómetros. Para separar ambas lagunas se ha tomado como límite arbitrario sobre dicho arroyo el sitio donde en la costa oriental termina el camino de tierra que nace en el km 137,5 de la Ruta 2 (*cf.* Fig. 3).

La región que abarca la laguna Adela se caracteriza por ser una llanura de acumulación limosa. El relieve es suave y la pendiente muy escasa en dirección SSE (valor medio 0,05%), aunque localmente puede alcanzar valores entre 0,30 y 0,40%. En este tramo de la cuenca se tienen menores pendientes y altitudes que hacia el norte (*cf.* Dangavs y Merlo, 1993 y Dangavs *et al.*, 1996), siendo mayores al oeste y menores al este de la laguna. Así, la mayor altitud de este sector de cuenca se encuentra al oeste de la laguna en cota 14,6 m, la menor en el lecho lagunar en 4,95 m y la altitud media del perímetro lagunar es de 9,48 metros sobre el nivel del mar.

En la zona existen muy escasas elevaciones, las que apenas se destacan en el paisaje, todas ellas coronadas por depósitos eólicos holocenos. Una excepción a lo señalado se encuentra en la escarpa (barranca) de la costa noreste, donde la laguna ha recortado una elevación que alcanza la cota de 14,5 metros (Fig. 3). Por otra parte, las áreas más bajas se asocian a cauces y cubetas, *i.e.*: ambientes acuáticos lénticos y lóticos en todas sus categorías, que incluyen la laguna Adela, bañados, pantanos, charcas y cauces fluviales (naturales y artificiales). Esta expresión morfológica marca la tendencia al llano de este segmento de cuenca, lo que implica que la planicie regional, no obstante ser

relativamente alta, es propensa al encharcamiento, sobre todo en el sector oriental, y se acentúa hacia la divisoria con las lagunas Chascomús y Del Burro.

El sistema geomorfológico local está integrado por dos unidades contrastantes, *i.e.*, el área de dominio fluvio-lacustre y el de la planicie de acumulación limosa eólica. En la primera unidad los elementos más conspicuos están constituidos principalmente por cauces, cubetas, bañados, planos aluviales, acumulaciones coluviales y las formas antrópicas (canales, zanjas y zanjones, terraplenes de caminos y del ferrocarril, puentes, alcantarillas y caminos). En la segunda los elementos son más escasos y corresponden a formas de erosión-acumulación, destacándose las micro/mesocubetas, pantanos y bañados, las lomadas erosivas y los elementos de origen edáfico (alcalinidad, hidromorfismo, etc.) y las antrópicas ya mencionadas, a las que se añade el pequeño núcleo urbano de Adela.

Los suelos de la zona se sitúan en el “Dominio Edáfico 11” de la provincia de Buenos Aires (INTA, 1989), el que corresponde al área terminal de las llanuras onduladas, cuyo límite sur es el río Salado. El paisaje se conforma por planicies altas, planas a levemente onduladas, y depresiones con numerosos ambientes lénticos. En las posiciones más altas y onduladas se desarrollaron Argiudoles típicos, y en las altas y planas los Argiudoles ácuicos, mientras que en las lomas junto a las cubetas se encuentran Hapludoles tauto-árgicos, y en las márgenes de cubetas y áreas encharcables los Natrudalfes típicos. Los suelos menores que acompañan estas asociaciones y/o consociaciones se encuentran presentes principalmente en las zonas inundables y en las vías de escurrimiento. Los mismos están representados por Natracualfes típicos y Natracuales típicos.

El área circundante a la laguna posee suelos de diversa aptitud agrícola, siendo el anegamiento y la presencia de sodio desde la superficie las limitaciones del uso del suelo más características. En los terrenos altos de la periferia lagunar se hallan los mejores suelos, con escasas limitaciones (Clase II/III del USDA). En cambio, en proximidades de las cubetas, bajos, áreas planas y vías de escurrimiento, aparecen suelos hidromórficos no aptos para cultivos, limitados a praderas naturales con posibles mejoras (Clase VIws del USDA), o sin posibilidad de mejoras (Clase VIIws del USDA).

La pedogénesis afectó tres materiales originarios distintos. El sedimento de mayor edad es el loess de la Formación Buenos Aires, situado en la base del relieve positivo. Es de textura franco arcilloso y con abundante carbonato de calcio. Sobre él se depositaron dos sedimentos eólicos de la Formación La Postrera, ambos de texturas franco arenosas y sin carbonatos. El inferior corresponde a la Formación La Postrera III, presente solamente en la costa noreste de la laguna, con espesores dispares de hasta 1 m, y el superior a la Formación La Postrera IV. Este último es mantiforme y corona el relieve de toda la región con potencias que no superan 0,60 m (ver acápite de Sedimentología).

### **Morfología lagunar**

La cubeta que aloja la laguna es irregular, con un cuerpo principal alargado en sentido esencialmente N-S, que comunica hacia el sur con la laguna Chis Chis, y con dos expansiones o brazos laterales (en la porción central), una hacia el oeste-sudoeste (que forma una suerte de bahía de rumbo SO-NE, y en la cartografía y en la región se conoce como “laguna Manantiales”, por la proximidad a la estancia homónima), y la otra hacia el este, más amplia que la anterior y sin denominación, que conecta con la laguna Del Burro (Fig. 3).

El lecho es regular, sin accidentes, con perfil en salsera, lo que confiere al conjunto forma de palangana, es decir, fondo plano y bordes elevados que constituyen escarpas de erosión (barrancas). La línea de costa está bien definida; siendo sus formas suavemente redondeadas y con numerosos accidentes en forma de bahías, golfos y ensenadas, separados por salientes o puntas. Por otra parte, las costas son de dos tipos contrastantes, altas y barrancosas, o bajas y anegables.

Las costas bajas no superan el 13% del perímetro lagunar y se hallan circunscriptas a las desembocaduras de arroyos y sus planicies de inundación. Su principal manifestación se encuentra en la boca del arroyo Girado, donde la laguna pasa insensiblemente a la pendiente que remata en la planicie circundante. El resto del perímetro lagunar es de costas barrancosas de distinta altura, desde un mínimo de 0,5 m en los bordes de los planos aluviales costeros, hasta un máximo de 5,1 m en la costa del extremo noreste de la laguna, siendo la altitud media de las barrancas de 1,5 metros. Cabe destacar que durante los períodos de estiaje aflora una franja de playa de 5 a 40 m de ancho en forma de plataforma de abrasión irregular, excavada en sedimentitas de la Formación Ensenada y cuyo relieve alcanza un desnivel de hasta 0,90 m, medido desde el nivel del agua hasta el pie de la barranca. Si se añade esta magnitud al valor medio antes considerado, se logra una altitud media final para la costa de la laguna de 2,4 metros.

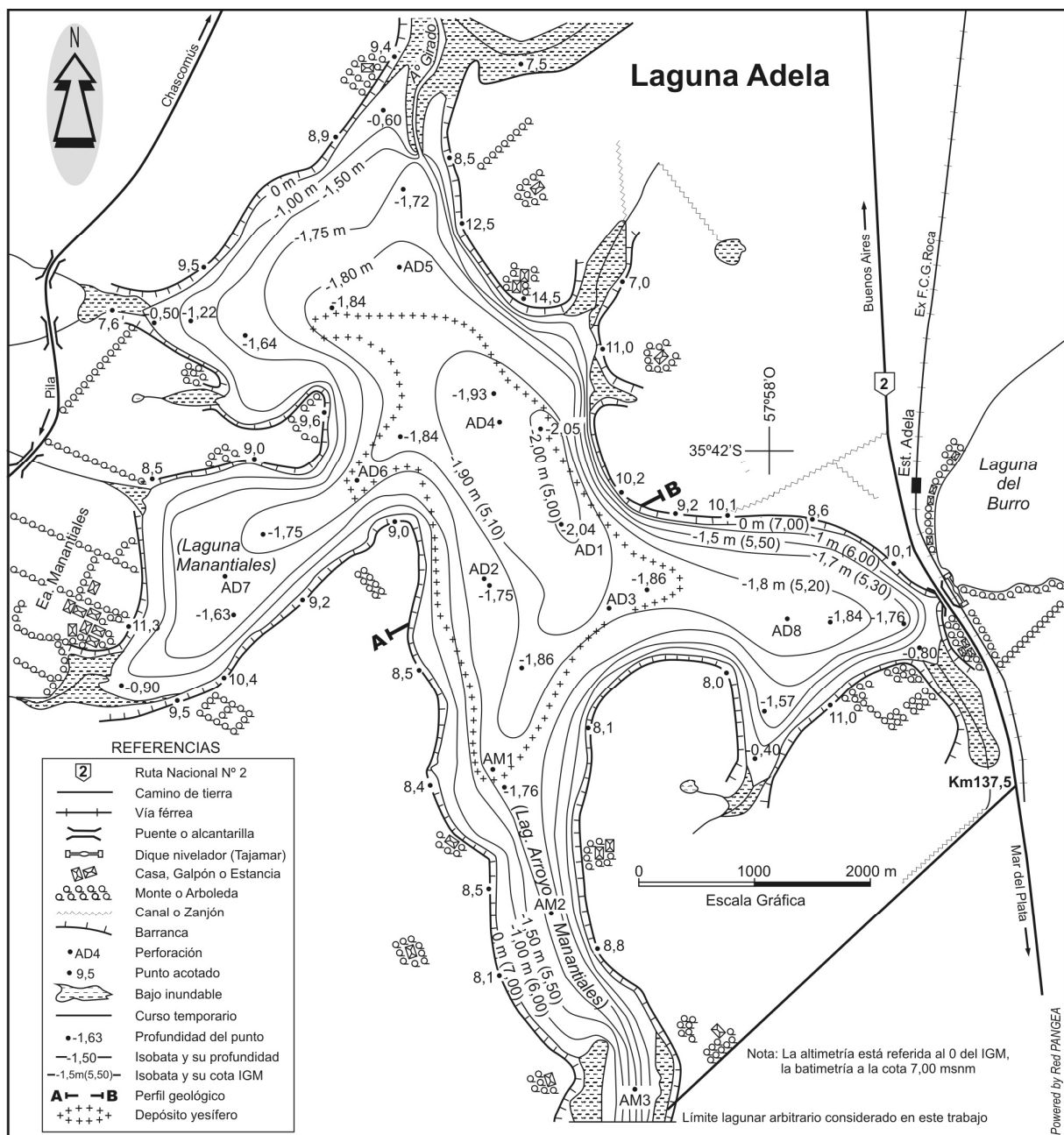


Figura 3. Planimetría acotada y batimetría de la laguna Adela.



### Parámetros morfométricos

Es de señalar que la superficie de la laguna se corresponde con el vaso que la contiene y que dicha superficie, volumen y las profundidades están referidos a la cota de espejo de agua de 7,00 m sobre el nivel del mar (Tabla 1).

**Tabla 1:** Parámetros morfométricos

Parámetro	Medida
Longitud máxima	10.350 m
Ancho máximo	7.920 m
Ancho medio	2.015 m
Perímetro	37.800 m
Desarrollo de costa	2,33
Superficie	20,85 km <sup>2</sup>
Superficie cuenca	989 km <sup>2</sup>
Volumen	34,2 hm <sup>3</sup>
Profundidad máxima	2,05 m
Profundidad media	1,64 m

## Resultados

### Físico-química del agua

#### Características físicas

Las aguas de la laguna son límpidas y de coloración amarillenta en probeta (color 49 a 54 en unidades de color Co-Pt). En la naturaleza la coloración es castaño amarillento y la transparencia siempre es mayor en los sectores con vegetación acuática, que en las zonas de aguas abiertas, sin embargo, esta circunstancia actualmente es apenas apreciable, dado que la vegetación acuática casi ha desaparecido. En los muestreos antiguos siempre se obtenían dos valores de transparencia con el disco de Secchi. En aguas abiertas estaba en el orden de 0,30 m, mientras que entre los juncas llegaba a 0,47 m. Hoy en día los valores en los meses de verano no sobrepasan 0,1 m y en los de invierno a 0,15 m, en ambos casos, debido al gran contenido de fitoplancton (valores NTU de turbiedad entre 52 y 56).

Los únicos registros de temperatura de agua indican escasa estratificación térmica, siendo la temperatura de la masa más superficial casi homogénea y muy similar a la del aire, en tanto, en las zonas más profundas se observa mayor amplitud térmica. Los sitios de muestreo fueron ubicados mediante posicionador satelital (Tabla 2):

**Tabla 2:** Temperatura del agua de la laguna

M	Fecha	Hora	Prof.	T° aire	T° agua	Viento	Latitud	Longitud
1	8-02-00	13:20	0,2 m	30,1	29,2	NO, 40 km	35° 41' 03"	57° 59' 20"
1	8-02-00	13:20	1,1 m	30,1	26,6	NO, 40 km	35° 41' 03"	57° 59' 20"
2	8-02-00	13:45	0,2 m	30,4	28,7	NO, 40 km	35° 41' 08"	57° 59' 46"
2	8-02-00	13:45	0,9 m	30,4	27,4	NO, 40 km	35° 41' 08"	57° 59' 46"

Referencias: M: muestra; Prof.: profundidad; T°: temperatura; Viento: dirección y velocidad.

### Características químicas

Se establecieron mediante diez muestras (M1-10): M 1 a 8 provienen de información antecedente; M 9 y 10 corresponden al muestreo de los autores, ambos a 200 m de la costa y a 0,30 m de profundidad. La M 9 del brazo Manantiales y la M 10 de la zona central de la laguna (Tablas 3 y 4).

**Tabla 3:** Planilla comparativa de análisis químicos de agua (en mEq/l)

M	Fecha	pH	RS mg/l	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	MO mg/l
1	03-01-56	8,5	2930	9,4	28,7	4,1	-	-	1,1	-	65,0
2	15-09-56	7,3	1946	2,4	19,8	4,2	-	-	1,6	5,1	60,0
3	18-09-57	7,5	1972	3,0	18,3	3,5	-	-	1,3	3,3	49,0
4	24-08-58	7,2	1316	3,7	14,6	2,4	-	-	2,0	3,5	25,0
5	23-07-65	7,7	1600	3,2	12,8	1,9	20,4	-	-	2,8	-
6	04-11-65	8,0	2052	7,1	24,0	3,3	30,0	-	-	4,1	-
7	16-02-66	8,4	2650	5,2	29,4	3,8	41,0	-	-	5,6	-
8	05-05-66	7,5	1405	4,6	14,3	4,0	20,4	-	-	4,8	-
9	26-02-04	8,2	974	6,6	4,3	1,8	8,8	0,5	1,1	1,2	39,8
10	26-02-04	7,8	1003	6,6	4,5	1,8	8,6	0,5	1,2	1,2	31,7

Referencias: M 1-4: Ministerio de Asuntos Agrarios; M 5-8: Convenio Estudio Riqueza Ictícola, CFI-PBA; M 9-10: C & D Laboratorio, La Plata; RS: residuo sólido; MO: materia orgánica.

Las características generales y comunes de las aguas residen en los siguientes aspectos:

- a.- La salinidad, expresada por el residuo sólido, y la conductividad eléctrica son altas, correspondientes a aguas oligohalinas dulces a algo salobres.
- b.- El residuo sólido y/o la conductividad eléctrica varían en función del volumen retenido, dependiendo el contenido de sólidos disueltos del estado hidrológico.
- c.- El pH es leve a medianamente alcalino.
- d.- El carbonato está ausente y la alcalinidad es exclusivamente de bicarbonatos.
- e.- Los iones dominantes actuales son el bicarbonato y el sodio, mientras que en las muestras más antiguas predominaba el cloruro sobre el bicarbonato.

### Tipificación

Las aguas son oligohalinas y la amplitud de variación anual del residuo sólido excede el límite mínimo de la categoría, lo que determina su inclusión en la categoría de laguna oligohalina mesopoiquihalina negativa, de acuerdo al sistema de Aguesse (1957) modificado por Ringuelet (1962).

En función de la cantidad relativa de iones, según los criterios de la limnología europea expresados por Maucha (1932), el agua de la laguna es bicarbonatada sódica clorurada, hemisulfatada, oligocálcica, oligomagnésica e hipopotásica. Cabe destacar que en los análisis más viejos el cloruro supera siempre al bicarbonato, en cuyo caso, hasta 1966, la tipificación sería de agua clorurada sódica bicarbonatada.

### Contaminación

No se han realizado determinaciones para establecer la aptitud del agua para la vida acuática y las actividades recreativas. Sin embargo, los datos analíticos (Tabla 4) indican la

presencia de polutantes en la zona central, correspondiente al eje de escurrimiento del sistema lagunar. Los datos de la década del 50 y 60 señalan la ausencia de nitratos, nitritos y fosfatos, mientras que en los recientes análisis aparecen dichas sustancias y de ellas el nitrito sobrepasa los valores establecidos por la normativa vigente (valor aceptable 0,06 mg/l, valor presente 1,35 mg/l); (cf: Ley PBA 5965 de "Protección a las fuentes de provisión, cursos y cuerpos receptores de agua y de la atmósfera" y su Decreto Reglamentario 2009/60, modificado por el Decreto 3970/98; Ley PBA 11723 de "Protección, conservación, mejoramiento y restauración de los recursos naturales y del ambiente"; Ley Nacional 24051 de "Residuos Peligrosos"; Resolución 389/98 de AGOSBA de "Normas de calidad de los vertidos de residuos líquidos a los cuerpos receptores de la Provincia de Buenos Aires", modificada por Resolución 336/03 del MAA y P; etc.).

Cabe destacar que en la periferia lagunar no existen poblados ni industrias, pero sí la descarga en el arroyo Girado de los efluentes cloacales de la localidad de Chascomús, provenientes de la planta de tratamiento urbano de dichos líquidos, la que de acuerdo a estos valores no estaría funcionando adecuadamente. Este hecho podría estar acelerando el deterioro del ambiente lagunar, incluso introduciendo sustancias peligrosas al sistema.

**Tabla 4:** Contaminantes en mg/l

M	Fecha	CE μS/cm	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>
1	03-01-56	-	0,0	0,0	0,0
2	15-09-56	-	0,0	0,0	0,0
3	18-09-57	-	0,0	0,0	0,0
4	24-08-58	-	0,0	0,0	0,0
5	23-07-65	-	0,0	0,0	-
8	05-05-66	-	0,0	0,0	-
9	26-02-04	1149	2,3	0,05	0,20
10	26-02-04	1180	2,6	1,35	0,32

Referencia: CE: conductividad eléctrica

#### **Agua freática y su interrelación con la laguna**

Para establecer la relación entre el agua freática y el nivel lagunar se instalaron seis freatímetros en el perímetro de la laguna y se realizaron mediciones periódicas entre marzo de 2001 y junio de 2004. En base a la freatimetría se pudo constatar la directa interrelación entre el nivel freático y el de la laguna. Así, en condiciones de laguna a nivel normal (años 2003/04), el nivel freático es positivo respecto del cuerpo de agua; es decir que la laguna recibe agua de la zona de saturación. Este comportamiento hidrológico del sistema freático-lagunar establece el carácter influente-efluente de los mismos. Por otra parte, la continua descarga subterránea hacia la laguna determina que el nivel lagunar oscile de la misma manera que el freático, salvo las diferencias impuestas por la permeabilidad de ambos medios, debido a lo cual podemos clasificar la laguna como freática.

En condiciones hidrológicas especiales, tal como durante la inundación de octubre de 2001 a marzo de 2002, el incremento del nivel lagunar fue abrupto con inversión del gradiente. Durante ese episodio la laguna se encontraba a un nivel mayor que el freático,

cediendo agua al acuífero (laguna influente), lo que determinó su rápido ascenso y afloramiento en los sectores más bajos aledaños a la costa. Por otra parte, durante las sequías (2005/2009) la laguna sigue recibiendo agua subterránea, en tanto exista gradiente hidráulico positivo entre la capa freática y la laguna. Si el nivel freático desciende debajo del fondo de la laguna, ésta se seca.

### **Clasificación limnológica**

Este ambiente acuático de la serie léntica posee una cubeta de contorno bien definido, asimilable al “*Wanne*” (Penck, 1894) parcialmente colmatado, hecho que determina escasa profundidad y perfil en palangana. Asimismo, ha mantenido un espejo de agua durante la mayor parte de su registro histórico, circunstancia que permite clasificarla como laguna casi permanente (Dangavs, 2005a), que es alimentada por las lluvias directas sobre el espejo de agua, el escurrimiento subterráneo y superficial, sin amplias variaciones de volumen retenido, salvo durante las sequías y las inundaciones. Además, posee sedimentos propios y procesos de acumulación autóctonos, todo lo cual nos permite clasificarla como típica laguna pampeana, rejuvenecida recientemente por desaparición de la gran masa de vegetación acuática invasora de su lecho, que la había llevado a prácticamente transformarse en un pantano.

En sentido puramente limnológico, la laguna Adela es equiparable al *pond*, el *étang*, y el *Weiher* y *Teich* (Ringuelet, 1962). Hidrológicamente equivale al *Flachsee* y al *Shallow lake* (Friedrich, 1982; Wetzel, 1983; Kapfer & Konold, 1993; Scheffer, 1998), es decir al concepto de lago playo o poco profundo (< 4 m). La equivalencia exacta se establece con el lago polimíctico y los lagos de tercer orden de la clasificación norteamericana, dado que carece de estratificación térmica y química permanente, debido a su escasa profundidad (Hutchinson, 1957). Por otra parte, el aporte hídrico fundamental proviene del agua subterránea, circunstancia que determina su condición de “laguna freática” y por su régimen hídrico “laguna casi-permanente”, dado que mantiene un espejo de agua durante la mayor parte de su registro histórico (Dangavs, 2005a).

### **Vegetación acuática**

Hasta la década del 80 la laguna se encontraba invadida por importantes comunidades de helófitas e hidrófitas, siendo las poblaciones más conspicuas la emergente y la sumergida. La población de vegetación emergente estaba representada por densos juncales de *Schoenoplectus californicus*, que en el año 1966 cubrían el 88,7% de la superficie lagunar (Dangavs 1967 y 1976), mientras que las escasas áreas del espejo de agua libres (11,3%) estaban situadas principalmente en el sector costero nordeste de la laguna y a lo largo de la zona interior del arroyo Manantiales (Fig.3). En general, en la zona marginal de la laguna, el junco constituía un anillo perimetral puro, mientras que en el interior del brazo “laguna Manantiales” se alternaba en menor proporción con la espadaña (*Zizaniopsis bonariensis*). En mayo de 1984 ya se observaba una merma en la superficie del juncal en 114 ha y en el año 2003 solo quedaba una orla perimetral, cuya superficie apenas alcanzaba las 62 ha, aunque, en algunos sectores, tiende actualmente a resurgir. También, en las décadas pasadas era frecuente

hallar en el borde lagunar la margarita de agua (*Senecio bonariensis*), la lagunilla (*Alternanthera philoxeroides*) y la redondita de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*) entre otras especies, las que han desaparecido, siendo común en los bajos ribereños solamente el duraznillar de *Solanum malacoxylon*.

Por otra parte, hasta hace pocos años la vegetación sumergida ocupaba una superficie aún mayor que la emergente, dado que se hallaba tanto en los sectores de aguas abiertas como en las consocias de los juncuales, representada principalmente por la “gambarrusa” (*Myriophyllum elatinoides*) y en mucho menor grado por la “cola de zorro” (*Ceratophyllum demersum*, var. *oxyacanthum*), el “camalote” (*Potamogeton striatus*) y diversas algas verdes; recientemente toda esta población ha desaparecido. Asimismo, la vegetación flotante, que llegaba a constituir importantes carpetas de lentejas de agua, helechitos de agua, repollitos de agua, etc., también ha desaparecido, no así el fitoplancton que resulta extremadamente abundante.

### Estratigrafía y sedimentología

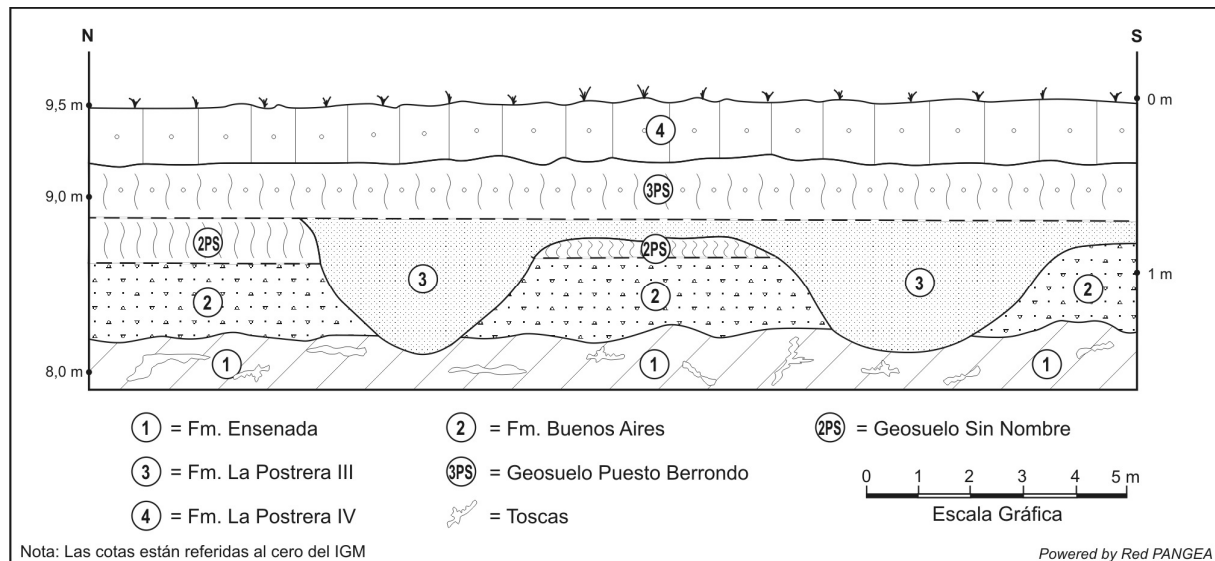
La laguna se encuentra asentada en depósitos sedimentarios cuaternarios, cuyas manifestaciones son visibles solamente en sus escarpas de erosión (barrancas) y playas, o yacen bajo el agua como depósitos colmatantes de la cubeta. Por las circunstancias apuntadas afloran solamente los depósitos de los terrenos asignables al Pleistoceno medio/tardío y Holoceno. Así, en la sucesión aflorante y en los sedimentos colmatantes del lecho hemos reconocido un total de once unidades estratigráficas. De ellas, nueve corresponden a unidades litoestratigráficas y dos a unidades pedoestratigráficas, excluido el suelo actual, en desarrollo a expensas del eólico más reciente y eventualmente del aluvio (Tabla 5).

**Tabla 5:** Unidades estratigráficas de la cuenca del río Salado y en la laguna Adela

Epoca	Unidades Litoestratigráficas	Unidades Pedoestratigráficas	Sitio: escarpas (barrancas)	Sitio: lecho
HOLOCENO	Aluvio	Suelo actual	Aluvio	Aluvio
	Fm. La Postrera IV (4)		Fm. La Postrera IV	-
	Piso Aimarano (8) (*)	Geosuelo	Geosuelo Puesto Berrondo	-
	Fm. La Postrera III (4)	Puesto Berrondo (7)	Fm. La Postrera III	-
	Fm. Luján, Mb Río Salado (7)	Geosuelo Puesto Callejón Viejo (7) (*)		Fm. Luján, Mb Río Salado
PLEISTOCENO	Fm. La Postrera II (4) (*)			-
	Fm. Luján, Mb Lobos (5)	Geosuelo		Fm. Luján, Mb Lobos
	Fm. La Postrera I (4)	La Horqueta (6) (*)		Fm. La Postrera I
	Fm. Luján, Mb La Chumbiada (2)	Geosuelo	Geosuelo Sin Nombre	Fm. Luján, Mb La Chumbiada
	Fm. Buenos Aires (1)	Sin Nombre (3)	Fm. Buenos Aires	-
	Fm. Ensenada (1)		Fm. Ensenada	Fm. Ensenada

Referencias: (\*): Unidades ausentes; (1): Riggi et al. (1986); (2): Dillon & Rabassa (1985); (3): Tonni & Fidalgo (1978); (4): Dangavs (2005b); (5): Dangavs & Blasi (2003); (6): Dangavs 2009a; (7): Fidalgo et al. (1973); (8): Doering (1884); Fm.: Formación; Mb: Miembro.

A continuación se describe de abajo hacia arriba la sucesión aflorante, reservando la descripción de los sedimentos de relleno de la cubeta a la parte final de este capítulo. Las características texturales y coeficientes estadísticos se encuentran representados en la Tabla 6.



**Figura 4.** Perfil geológico de un sector de la parte superior de la barranca de la costa NE de la laguna Adela.

### Sedimentos superficiales

Estando el nivel de la laguna en cota de 7 m, la unidad estratigráfica superficial más antigua apenas asoma en la porción basal de las escarpas de la laguna, mientras que en bajante presenta una ancha plataforma erosiva labrada en estos depósitos. Se compone principalmente de limolitas arenosas estratificadas castaño oscuras (10YR 4/4) a amarillento rojizas (7,5 YR 6/6) y por homeoconglomerados con rodados y matriz pelítica de la misma composición. Estas sedimentitas se presentan desde macizas a estratificadas, levemente a bien consolidadas, y calcretizadas en forma de planchas y septos subverticales a verticales. La unidad se asigna a base de su posición estratigráfica y características litológicas a la Formación Ensenada (Riggi *et al.*, 1986) del Pleistoceno temprano a medio (Figs. 4 y 5).

En discontinuidad erosiva se sitúa un depósito loésico castaño amarillento claro (10YR 6/4), friable a levemente endurecido, de textura limo-arenosa y estructura migajosa, con abundante bioturbación de raíces, tubos de insectos y calcretas en forma de muñecos. Alcanza espesores de hasta 1,4 m en gran parte del perímetro lagunar, salvo en la costa noreste, donde su techo ha sido fuertemente erosionado, presentando un relieve muy ondulado, lo que determina, espesores mínimos en tramos muy cortos o directamente su ausencia. Hacia arriba remata en un paleosuelo truncado compuesto por los horizontes 3Btkb y 3BCkb de 0,5 m de espesor. Esta unidad por su posición estratigráfica y características litológicas se asigna a la Formación Buenos Aires (Riggi *et al.*, 1986) del Pleistoceno medio a tardío y el paleosuelo de su porción cuspidal al Geosuelo Sin Nombre (Tonni & Fidalgo 1978), (Figs. 4 y 5).

En la costa noreste, rellenando el paleorrelieve erosivo de la Formación Buenos Aires se halla un depósito eólico de hasta 1 m de espesor (Figs. 4 y 5). Consiste en un sedimento de aspecto loésico castaño muy claro (10 YR 6/3), friable a levemente consolidado y sin calcretas. La textura es limo-arenosa, unimodal en el limo grueso. Este eólico conserva en la

parte cuspidal de la mayoría de sus afloramientos un paleosuelo de perfil truncado de 0,4 m con un horizonte 2Btb corto de estructura prismática débil, con barnices y un 2BCb. Cuando este paleosuelo se superpone al Geosuelo Sin Nombre, y a su vez es coronado por el suelo actual, se produce la poco frecuente superposición de tres suelos. Esta unidad estratigráfica se correlaciona con la Formación La Postrera III (Dangavs, 2005b) del Holoceno medio a tardío y el paleosuelo con el Geosuelo Puesto Berrondo (Fidalgo *et al.*, 1973) del Holoceno tardío.

El depósito mantiforme que corona las escarpas de mayor desarrollo altimétrico está representado por otro depósito de aspecto loésico de hasta 0,5 m, en cuyo seno se desarrollan los suelos franco arenosos actuales de perfil edáfico corto (A1/AC). Este sedimento se compone de limos arenosos friables, de color castaño oscuro (10YR 3/3), de estructura granular a bloques subangulares pequeños y con abundante bioturbación. Posee abundante materia orgánica y carece de carbonatos. Esta unidad estratigráfica se correlaciona con la Formación La Postrera IV (Dangavs, 2005b) del Holoceno tardío-tardío (Figs. 4 y 5).

En los sectores de escarpas bajas y playas, la cubierta sedimentaria está representada por los depósitos de origen subáctico más recientes, denominados colectivamente Aluvio. Ellos están integrados por acumulaciones escasamente seleccionadas de gravas arenosas y arenas limosas, que se entremezclan con fangos lagunares. Estos sedimentos se hallan presentes en menor o mayor grado en todo el perímetro lagunar, recubriendo sedimentos de mayor edad. Su mayor desarrollo areal y volumétrico se encuentra en el lecho lagunar, donde serán descriptos.

### Sedimentos colmatantes

Sobre el lecho primitivo de la cubeta, situado 1,45 metros bajo el nivel del mar y labrado en sedimentitas de la Formación Ensenada, se han reconocido mediante perforaciones hasta 6,4 m de depósitos colmatantes, integrados por las acumulaciones del ambiente actual, un sedimento eólico y tres depósitos de paleoambientes acuáticos, todos lo cuales representan otras tantas unidades estratigráficas, las que serán descriptas de abajo hacia arriba (Tablas 5 y 6 y Figura 5).

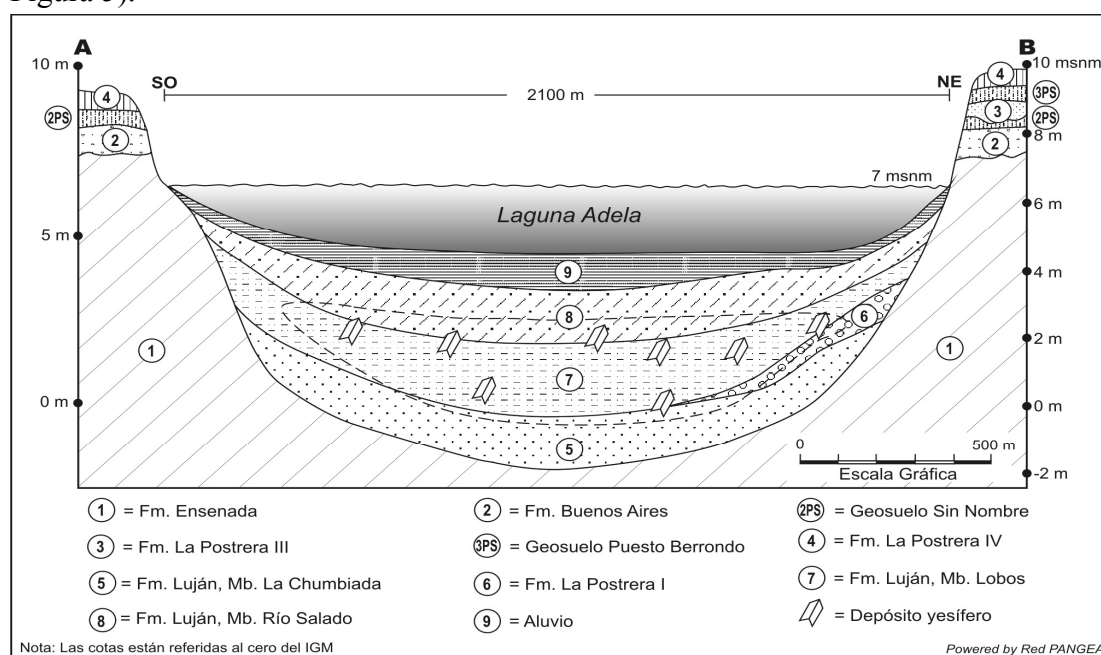


Figura 5. Perfil geológico SO-NE de la laguna Adela, correspondiente a la sección A-B de la Figura 3.

*Unidad 1* (Fm. Luján, Miembro La Chumbiada). Alcanza una potencia de 1,6 m y está constituida, desde el centro a la periferia por fangos, fangos arenosos y limos arenosos de color gris claro (10YR 7/2) y castaño muy claro (10YR 7/3), ambos en seco. Estos sedimentos se presentan desde macizos y homogéneos, hasta estratificados en láminas muy finas. La consistencia es levemente endurecida a muy dura y en general no se observa bioturbación. La distribución granulométrica de los fangos es polimodal en 6, 9 y 11 $\phi$ , el tamaño promedio se ubica en el limo muy fino y las curvas acumulativas indican muy pobre selección, asimetría fina y acuminación platicúrtica. Los fangos arenosos son bimodales en 5 y 11 $\phi$ , el tamaño promedio está en el limo fino, la selección es muy pobre, la asimetría fina a muy fina y la acuminación platicúrtica. Finalmente, en los limos arenosos se pueden diferenciar dos poblaciones: marginal externa y marginal interna. La externa es unimodal en 4 $\phi$ , el tamaño promedio se ubica en el limo grueso, la selección es moderada, la asimetría muy fina y la curtosis leptocúrtica. La población marginal interna es más fina, con distribución bimodal en 4 y 11 $\phi$ , tamaño promedio en el limo mediano, muy pobre selección, asimetría muy fina y muy platicúrtica.

La mineralogía de la unidad se caracteriza en el tamaño arena muy gruesa por cristales de yeso con fuertes signos de corrosión y carbonato de calcio en forma de calcretas (tosquillas). El yeso se presenta en microrrosetas, cristales prismáticos y agregados sacaroidales. Las calcretas en forma de tubos y en muñecos. El carbonato de calcio suele recubrir los cristales de yeso y las conchillas. En el tamaño arena gruesa y mediana, la mineralogía es semejante a la anterior, incorporándose además las “tosquillas” de hierro, cristales de yeso discoidal y cuarzo redondeado. En la arena fina predomina el yeso discoidal y las calcretas, y a veces el vidrio volcánico y las calcretas. El vidrio volcánico se presenta en trizas incoloras, límpidas o alteradas en una masa arcillosa blanquecina (alterita), acompañado de plagioclasa límpida, feldespato potásico amarillo, rojizo o blanco, cuarzo incoloro o recubierto por pátinas rojizas y líticos volcánicos rojos. En este tamaño, el mineral pesado más abundante es la muscovita. En la arena muy fina, el yeso es escaso y los minerales volcánicos son dominantes. De ellos, el vidrio volcánico representa 1/3 de la fracción y del resto la mayoría está constituida por el trío: plagioclasa, cuarzo y feldespato potásico, acompañado por líticos volcánicos y minerales pesados: muscovita, biotita alterada, anfíboles y magnetita. La magnetita es el mineral pesado más abundante en el tamaño limo grueso.

Los bioclastos consisten en fragmentos óseos de mamíferos fósiles no identificables, así como placas de caparazón de *Glyptodon sp.* Asimismo, se encuentran restos de organismos dulciacuícolas, i.e. escamas de peces, conchillas de moluscos indeterminables, conchillas de *Heleobia parchappei* y *H. ameghinoi*, fragmentos de cáscaras de *Pomacea sp.*, valvas abiertas y cerradas de ostrácodos lisos, girogonites de charófitas y escasas diatomeas.

Estos depósitos representan un paleoambiente dulciacuícola de carácter fluvio-lacustre, que por su posición estratigráfica, características litológicas y contenido fosilífero se correlaciona con la Formación Luján, Miembro La Chumbiada (Dillon & Rabassa, 1985) del Pleistoceno tardío.

*Unidad 2* (Formación La Postretera I). En el sector noreste de la cubeta, en discontinuidad erosiva sobre el Miembro La Chumbiada se encuentra un pequeño depósito eólico intracuenal fuertemente erosionado, constituido por pseudo limos arenosos con yeso, que no supera 0,7 m de espesor, unos 500 m de ancho y una longitud reconocida de 1,5 km. Estos sedimentos de color castaño muy claro (10YR 7/3) son friables a levemente consolidados y macizos, formados esencialmente por clastos de arcilla (pellets), floculados en partículas de tamaño arena a limo grueso. Estos pseudo limos arenosos son polimodales en 4, 7,8 y 11 $\phi$ . El tamaño promedio se ubica en limo grueso y las curvas acumulativas indican pobre selección, asimetría muy fina y acuminación leptocúrtica.

La presencia de estas unidades mecánicas incrementa artificialmente el contenido de arena y modifica la composición textural. Al observar en el microscopio binocular cada tamaño de la fracción



arena, resulta que la mayor parte de la misma está constituida por pellets de arcilla, siendo minoritarios los cristales individuales. La acomodación *in situ* de los materiales a través del tiempo nos conducirá a la larga al sedimento originario (quizás fangos arenosos o fangos).

La composición de la fracción arena a limo grueso se caracteriza hasta la arena mediana por una mayoría de pellets de arcilla redondeados, cristales de yeso, concreciones de carbonato de calcio y de hierro-manganeso. En la arena fina los pellets de arcilla alcanzan a 70% y en la muy fina el 50%, incluso son abundantes en el limo grueso. La mineralogía restante es volcanoclástica: plagioclasa, cuarzo, vidrio volcánico, feldespato potásico, líticos volcánicos y minerales pesados, estos últimos muy abundantes en el limo grueso. Los bioclastos son escasos, representados por células silíceas de poáceas, fragmentos óseos de animales terrestres y de organismos acuáticos redepositados. Estos últimos corresponden a fragmentos de conchillas de gasterópodos indeterminables, también de *Heleobia parchappei*, *H. ameghinoi*, valvas de ostrácodos y girogonites de charáceas.

Este depósito eólico representa la etapa de aridez que ocurrió con posterioridad a la acumulación de la unidad anterior, durante la cual la cubeta se transformó en un ambiente arreico tipo playa, pan o sabkha interior, donde precipitaron evaporitas y se formaron pellets, los que fueron acumulados como dunas de arcilla (Tricart, 1969; Dangavs, 1979; Goudie & Wells, 1995; Dangavs, 2009a, b y c). Por su génesis y posición estratigráfica, este depósito en duna de arcilla se asigna a la Formación La Postrera I del Pleistoceno tardío (Dangavs, 2005b).

*Unidad 3* (Formación Luján, Miembro Lobos). En discontinuidad erosiva suprayacen a las unidades anteriores sedimentos clásticos y químicos gris oliva claros (5Y 6/2) en seco, de hasta 2,2 m de espesor. El sedimento clástico de la unidad es de textura fango-arenosa, la que, debido a la precipitación de yeso y carbonato de calcio en su seno ha sido modificada a mucho más gruesa, las que incluso pueden alcanzar el tamaño grava. En general estos sedimentos son macizos y no presentan estructuras ni bioturbación. La consistencia es friable en húmedo y duro a muy duro en seco. La distribución granulométrica del sedimento clástico es bimodal en 5 y 11 $\phi$ , el tamaño promedio se ubica en el limo muy fino y las curvas acumulativas indican muy pobre selección, asimetría muy fina y acuminación platicúrtica.

La composición mineral de la unidad está dominada por elementos epigénicos, principalmente yeso y carbonato de calcio en calcretas (tosca). La carbonatación ha sido posterior a la precipitación del yeso, dado que el carbonato recubre los cristales de yeso, los restos de organismos y engloba la matriz clástica. En la arena muy gruesa y gruesa predominan los cristales de yeso, las calcretas y los pellets de arcilla. En algunas muestras también aparecen “tosquillas” de hierro (*sensu* Frenguelli, 1925) y concreciones de hierro y de hierro-manganeso. En ausencia de yeso predominan las calcretas, las que en algunos casos constituyen hasta el 90% de las fracciones mayores a la arena mediana, dando al sedimento composición de fangos calcáreos. También cabe destacar la presencia ocasional en el tamaño arena gruesa de cementos de hierro y manganeso que recubren o embeben los materiales. En la arena mediana a limo grueso predominan el yeso, la calcreta, los pellets de arcilla y los minerales volcanoclásticos. En estos últimos el vidrio volcánico es mayoritario en la arena fina y en la fracción de 88  $\mu\text{m}$ , acompañado de plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico, líticos volcánicos y minerales pesados (hornblenda, muscovita y minerales opacos). En general el vidrio volcánico se presenta en trizas límpidas o con canales rellenos por alteración, consistente en una masa arcillosa blanca. En el tamaño limo grueso la magnetita es el mineral pesado dominante.

Los bioclastos son abundantes y corresponden mayormente a restos de organismos de agua dulce y en menor cuantía de linaje marino. En la unidad se han reconocido los siguientes restos: conchillas de *Heleobia parchappei*, *H. ameghinoi*, *H. aff. australis*, *Biomphalaria peregrina*, *Lymnaea sp.* y *Pomacea sp.* Además, hay restos óseos rodados, escamas, dientes, espinas y vértebras de peces, valvas de ostrácodos, frústulos de diatomeas, girogonites de algas charáceas pertenecientes a varias especies y tubos calcáreos segregados por estas algas, y cónculas de foraminíferos, entre las cuales que se

reconocen los géneros *Ammonia sp.*, *Elphidium sp.* y *Discorbis sp.* normales e incluso mal formados (forminíferos aberrantes).

El depósito descrito representa las acumulaciones de un paleoambiente dulciacuícola en los 2/3 inferiores de la unidad, que en sus postrimerías se transformó en un lago salado, con presencia de elementos faunísticos de abolengo marino y origen atalásico (*cf.* Cann & De Dekker, 1981), correlacionándose la unidad con la Formación Luján, Miembro Lobos del Pleistoceno tardío-tardío (Dangavs & Blasi, 2003).

*Unidad 4* (Formación Luján, Miembro Río Salado). En discontinuidad erosiva sobre el Miembro Lobos se dispone un depósito pelítico con muy abundantes restos de organismos acuáticos dulciacuícolas, lentes de ceniza volcánica y calcretas. Estos sedimentos alcanzan 1,4 m de potencia y se componen de fangos de color gris (10YR 5/1) a castaño grisáceo (2,5Y 5/2) en seco, duros a muy duros, macizos o con estructura laminar y abundante bioturbación. La distribución granulométrica de los fangos es polimodal en 5, 7 y 11 $\phi$ , el tamaño promedio se ubica en el limo muy fino y las curvas acumulativas indican muy pobre selección, asimetría muy fina y acuminación mesocúrtica.

La composición mineral del tamaño arena a limo grueso está determinada por la presencia casi exclusiva en la fracción arena muy gruesa a mediana de concreciones de carbonato de calcio, que suele recubrir restos de organismos, conchillas, cristales de cuarzo y yeso. En los tamaños menores a arena mediana predomina la composición volcanoclástica, en el siguiente orden de abundancia: vidrio volcánico en trizas o pumíceo, fresco, relleno y/o alterado en arcilla, plagioclasa redondeada, cuarzo de alta esfericidad, líticos volcánicos y minerales pesados, entre lo cuales se destacan la muscovita y la magnetita.

Los bioclastos de la unidad son análogos a los de la laguna actual, i.e. fragmentos de huesos de pequeños mamíferos, tejidos vegetales, semillas, girogonites, láminas y tubos calcáreos de algas charáceas, frústulos de diatomeas, formando agregados en forma de racimos o sueltos (4 géneros) restos de insectos, escamas y vértebras de peces, extremadamente abundantes valvas de ostrácodos y abundantes restos de moluscos de agua dulce, donde se reconocen conchillas de *Heleobia parchappei*, *Biomphalaria peregrina*, *Succinea meridionalis*, *Lymnaea viatrix* y fragmentos de cáscaras de *Pomacea sp.* Este depósito dulciacuícola palustre calcáreo se correlaciona con la Formación Luján, Miembro Río Salado de Fidalgo *et al.* (1973) del Holoceno temprano a medio.

*Unidad 5* (Aluvio). Los sedimentos superiores del lecho lagunar alcanzan una potencia entre 0,3 a 1 m y están conformados por depósitos sefíticos a pelíticos, los que, de acuerdo a su posición en el cuerpo de agua, pueden ser asimilados a dos subfacies depositacionales, una marginal y otra central. La subfacies marginal es de naturaleza intracuenal y reúne a los depósitos de playa: gravas finas y arenas limosas. La subfacies central es pelítica, con texturas que decrecen en tamaño hacia el interior de la cubeta desde limos arenosos a fangos arenosos y fangos.

Los depósitos de la subfacies central poseen abundante materia orgánica, colores oscuros y lentes de ceniza volcánica y alcanzan su máximo espesor en el centro de la laguna. Se acuñan hacia la costa, salvo en los sitios donde vuelven a espesar en respuesta a cambios en las condiciones de circulación, determinadas principalmente por el efecto de “peine” de las antiguas barreras de juncales.

En la zona periférica de la subfacies central domina el tipo textural limo arenoso, cuya distribución granulométrica es bimodal. Hacia el centro la subfacies está conformada por dos secciones, superior e inferior. La superior consiste en un sedimento suspensoide tixotrópico, gelatinoso y semiflotante, de 0,20 a 0,30 m de espesor, con 40 % de materia orgánica, textura arcillosa, distribución granulométrica polimodal, con la moda principal en la arcilla <11 $\phi$  (60%). La sección inferior por fangos arenosos y fangos polimodales castaño oscuros (10YR 3/3) a castaño grisáceos (10YR 5/2) en seco.

En la composición mineral de los tamaños mayores de la subfacies marginal predominan los

rodados de calcretas, concreciones de hierro-manganeso y restos de conchillas y en la central se encuentran solamente restos de organismos. En la arena mediana aparecen escasos representantes volcánicoclásticos, los que se incrementan a partir de la arena fina, con la presencia de abundante vidrio volcánico (no dominante), plagioclasa, cuarzo, feldespatos potásico y minerales pesados: muscovita y magnetita. El vidrio volcánico se presenta en trizas en su mayoría límpidas y el feldespato potásico alterado en una masa opaca rojiza. En el limo grueso son abundantes los minerales pesados, siendo el principal la magnetita.

Los bioclastos son muy abundantes y consisten en tejidos vegetales, raíces, semillas, restos de insectos, escamas y vértebras de peces, valvas de ostrácodos, frústulos de diatomeas, girogonites de algas charáceas y abundante conchillas de gasterópodos de agua dulce: *Heleobia parchappei*, adultos e inmaduros, *Biomphalaria peregrina*, *Lymnea viatrix*, etc. Este último depósito de relleno representa las acumulaciones del ambiente actual, que se asignan al Aluvio reciente.

**Tabla 6:** Depósitos colmatantes: Valores medios de parámetros texturales y estadísticos en muestras sin yeso.

A%	L%	Ac%	Tex	Mz	$\sigma_1$	$S_K$	$K_G$	Unidades estratigráficas
27	69	4	LA	5,23	1,64	0,25	0,72	U5- Aluvio
9	46	45	F	7,84	3,02	0,09	0,87	U5- Aluvio
1	29	70	Ac	9,45	3,04	-0,16	0,79	U5- Aluvio
9	56	35	F	7,34	3,16	0,44	0,92	U4-Miembro Río Salado
13	49	38	FA	7,15	3,30	0,47	0,83	U3- Miembro Lobos
37	51	12	LA	4,86	1,88	0,57	1,32	U2- Fm La Postrera I
37	60	3	LA	4,32	0,89	0,49	1,50	U1-Miembro La Chumbiada
32	48	20	LA	5,80	2,96	0,08	0,59	U1-Miembro La Chumbiada
16	51	33	FA	6,73	3,20	0,30	0,73	U1-Miembro La Chumbiada
7	48	45	F	7,86	3,28	0,23	0,77	U1-Miembro La Chumbiada

Referencias: A: arena; L: limo; Ac: arcilla; Tex: textura; LA: limo arenoso; FA: fango arenoso; F: fango; Mz: media gráfica;  $\sigma_1$ : desvío estándar;  $S_K$ : asimetría;  $K_G$ : curtosis

### Propuesta de interpretación paleoclimática/ambiental

La cuenca del río Salado se ha caracterizado desde el último glacial por una sucesión climática alternante seca-húmeda que prevalece hasta el presente, coincidente con los conceptos de rexistasia y biostasia de Erhart (1956), representada por cinco etapas secas y otras tantas húmedas, la última de las cuales corresponde al clima actual. Las rexistásicas se caracterizaron por clima predominantemente frío y seco, deflación, excavación de cubetas, generación de pans, playas, sabkhas y/o lagos salados, con precipitación de yeso, calcita, dolomita, pelletización y acumulación de depósitos eólicos: arenosos, limosos y arcillosos. En tanto las biostásicas fueron cálidas y húmedas, donde predominó el modelado, el aluvionamiento en los sucesivos ambientes acuáticos alojados en las cubetas eólicas y la pedogénesis en los afloramientos. Las evidencias de todos estos fenómenos se encuentran en los lechos de los ambientes acuáticos de la cuenca y en los afloramientos de sus escarpas de erosión.

La laguna Adela tiene un origen semejante al explicitado, cuya excavación eólica se habría iniciado en el Pleistoceno tardío, durante las acciones eólicas que ampliaron el primitivo valle fluvial hasta transformarlo en una cubeta de 8 a 10 m de profundidad; en cambio, el modelado continúa hasta el presente. Las edades consideradas y la propuesta de la interpretación paleoclimática se basaron en la secuencia de estadios isotópicos (EIO4 a EIO1), los episodios pedogénéticos (S4 a S0) y las fases eólicas de dunas/loess (D5-L5 a D1-L1), relacionadas con las variaciones climáticas cuaternarias en las llanuras sudamericanas, con énfasis en las argentinas de la región pampeana y chaqueña,

establecidas por Iriondo & García (1993), Iriondo (1994 y 1999) e Iriondo & Kröhling (1995 y 2007).

Así, los depósitos superficiales más antiguos de la región corresponden a la Formación Ensenada del Pleistoceno temprano a medio (Riggi *et al.*, 1986), los que constituyen la roca de base del paisaje actual y el sustrato de la cubeta lagunar. Según Frenguelli (1957), durante el Pleistoceno medio predominó el clima húmedo, los procesos fluviales y la formación de valles, mientras que en el Pleistoceno tardío tuvo lugar una importante etapa de aridez, con deflación, excavación de cubetas, calcificación, salinización y acumulación de loess. Este loess está representado por la Formación Buenos Aires (Riggi *et al.*, 1986), que de acuerdo a Iriondo & Kröhling (1995 y 2007) se correspondería con el estadio isotópico EIO4 y fase climática D5-L5 de clima frío y seco en las llanuras argentinas. Sancetta *et al.* (1973) sitúan al EIO4 entre los 75 y 56 ka AP.

La etapa rexistásica anterior fue seguida por otra biostásica, en cuyo transcurso se acumuló en la cubeta primitiva el primer depósito del registro paleolimnológico, representado por la Formación Luján, Miembro La Chumbiada del Pleistoceno tardío (Dillon & Rabassa, 1985), equivalente al Lujanense (rojo) de Ameghino (1889) y a la Formación Luján, Miembro Guerrero de Fidalgo *et al.* (1973). Además, esta etapa posibilitó la pedogénesis del loess de la Formación Buenos Aires, representada por el Geosuelo Sin Nombre (Tonni & Fidalgo, 1978). Este nivel estratigráfico se correspondería con el estadio isotópico EIO3 y pedogenético S4, caracterizado por clima cálido y húmedo (Iriondo & Kröhling, 1995). Sancetta *et al.* (1973) sitúan el EIO3 entre los 56 y 36 ka AP.

Al episodio anterior siguió uno frío y seco que afectó la cubeta lagunar, produciendo desecación, salinización y acciones eólicas. La evidencia de este primer episodio climático seco posbonaerense se encuentra en el lecho como un depósito eólico intracuencal de duna de arcilla, correlacionable con la Formación La Postrera I del Pleistoceno tardío (Dangavs, 2005a). Estos sedimentos provienen de la deflación del Miembro La Chumbiada y representarían la fase climática D4-L4 del estadio isotópico EIO2, correspondiente al Máximo Glacial (Dangavs, 2009a, b y c). Las dataciones radiocarbónicas de Figini *et al.* (1996) en el arroyo Tapalqué, referidas al techo del Miembro La Chumbiada (Lujanense rojo) y el piso del Miembro Lobos (Lujanense verde), establecieron un hiatus en la depositación de ambos miembros de la Formación Luján de 10 ka (entre 28 a 18 ka AP). En parte de este intervalo estratigráfico se ubica la Formación La Postrera I.

En la siguiente etapa cálida y húmeda se acumuló la Formación Luján, Miembro Lobos del Pleistoceno tardío-tardío (Dangavs & Blasi, 2003), equivalente al Lujanense (verde) de Ameghino (1889). Estos sedimentos contienen restos de organismos de agua dulce y de abalongo marino, pero de origen atalásico. La acumulación del Miembro Lobos podría ser interpretada como la fase final cálida y húmeda del EIO2 y pedogenética S3, con una edad probable entre los 18 y 14 ka AP (Iriondo & García, 1993).

A continuación se instaló en la región otra etapa fría y seca, que no está representada en la laguna, salvo por las evidencias indirectas del funcionamiento de un lago salado, denotada por la presencia de yeso, pellets de arcilla y los restos de abalongo marino, alojados en el tercio superior de la unidad anterior. Esta etapa seca representaría la fase climática D3-L3 de Iriondo & Kröhling (1995), durante la cual en otros ambientes de esta cuenca se acumularon también depósitos eólicos, representados por la Formación La Postrera II (Dangavs, 2005a), equivalente al Platense eólico de Frenguelli (1957), cuya edad podría abarcar el intervalo entre los 14 y 8,5 ka AP (Dangavs & Reynaldi, 2008; Dangavs, 2009 a, b y c).

En la siguiente etapa húmeda se acumuló el tercer depósito paleolimnológico, constituido por los sedimentos del ambiente dulciacuícola lagunar a palustre calcáreo de la Formación Luján, Miembro Río Salado, correlacionable con el Piso Platense de Ameghino (1889) y el Platense fluvial de Frenguelli (1957). Para Iriondo & García (1993), este nivel estratigráfico representa la etapa cálida y húmeda del estadio isotópico EIO1 y pedogenética S2, que se desarrolló entre 8,5 y 3,5 ka AP,

correspondiente al intervalo climático Hypsithermal.

En el lapso Holoceno medio/tardío, se sucedieron otros cuatro episodios climáticos alternantes, dos secos y dos húmedos, siendo el cuarto el más breve, el que incluye al tiempo actual. El primero se caracterizó por clima seco, con deflación del Miembro Río Salado y su acumulación como limos eólicos, que fueron caracterizados como la Formación La Postrera III (el Cordobense de Castellanos, 1918) y en los lechos por la precipitación de carbonatos y yeso. El nivel estratigráfico de la Formación La Postrera III podría ser asignado a la fase climática D2-L2 de clima subtropical seco, situada entre los 3,5 y 1,4 ka AP (Iriondo & García, 1993).

La siguiente etapa representa una época de estabilidad, con funcionamiento de ambientes acuáticos y formación de suelos (pedogénesis S1), la que se correspondería con la etapa cálida y húmeda del Máximo Medieval entre los 1,4 y 0,7 ka AP (Iriondo & García, 1993), durante la cual se desarrolló el denominado Geosuelo Puesto Berrondo (Fidalgo *et al.*, 1973) a expensas de la Formación La Postrera III. Acerca de depósitos paleolímpicos de esta etapa (el “Piso Aimarano” de Doering, 1884) no quedan evidencias en la laguna, los que podrían haber sido suprimidos por deflación durante las acciones eólicas que acumularon la Formación La Postrera IV o quizás, la semejanza litológica con los depósitos supra e infrayacentes, pueden haber dado lugar a su inclusión tanto en la base de los depósitos aluviales actuales como en el techo del Miembro Río Salado.

La última etapa seca, fue de menor duración e intensidad que la anterior, durante la cual hubo desecación de ambientes acuáticos, deflación, rejuvenecimiento de cubetas y acumulación del eólico más reciente, representado por la Formación La Postrera IV (Dangavs, 2005b). En la cuenca del río Salado, esta etapa se caracterizó por la deflación de las acumulaciones de los lechos y la decapitación del Geosuelo Puesto Berrondo, que junto con otros materiales provenientes de zonas más lejanas se depositaron en forma de manto sobre las formaciones infrayacentes. Este nivel estratigráfico se asigna a la fase climática D1-L1, denominada “Pequeña Edad de Hielo”, que Iriondo & García (1993) sitúan entre 0,8 y 0,2 ka AP.

La última etapa climática nos ubica en el régimen húmedo actual, caracterizado por el funcionamiento de los ambientes acuáticos de la región pampeana, cuyos depósitos se denominan colectivamente “Aluvio” reciente o actual. Asimismo, este régimen es el que posibilita el desarrollo y evolución de los suelos actuales (etapa pedogenética S0), principalmente a expensas de los sedimentos de la Formación La Postrera IV. La edad que se le asigna al Aluvio apenas supera los 0,2 ka AP.

### **Dinámica acuática**

La laguna Adela es una gran masa de agua de 34 hm<sup>3</sup> alojada en una depresión de más de 20 km<sup>2</sup>, que constituye su recipiente o cubeta. El origen del continente y la existencia del contenido se encuentran ligados a los acontecimientos geológicos, geomorfológicos, climáticos e histórico/culturales de la región. Los procesos geodinámicos del Cuaternario, sobre todo los fluviales y los eólicos, modelaron el recipiente. El clima y los fenómenos geomorfológicos dieron lugar a los sucesivos ambientes acuáticos que se alojaron en la cubeta. El hombre y sus actividades están modificando en forma creciente este biótomo y pueden llegar a degradarlo definitivamente, si no se toman las necesarias medidas de recuperación y manejo.

Este reservorio natural de los recursos hídricos y bióticos se encuentra supeditado al ciclo de agua de la región, donde el carácter casi permanente de la laguna, señala cierto equilibrio tendiente a su preservación. La estabilidad del espejo lagunar está determinada por los aportes superficiales y freáticos, y la colmatación, por sedimentos y vegetación, a consecuencia de lo cual, la cubeta lagunar va perdiendo paulatinamente profundidad y la laguna su superficie de agua libre. En crecientes cumple la función de colectora de los excesos pluviales de la cuenca, siendo los aportes superficiales principales los provenientes del arroyo Girado y de dos pequeños arroyos canalizados situados al este

y oeste de laguna. El que desagua en la costa este es colector de terrenos anegadizos y cunetas de la Ruta 2. El de la costa oeste desagua una amplia zona anegable que se extiende a más de 7 km de la laguna, hasta los límites de la cuenca superficial.

La laguna es alimentada por las precipitaciones directas sobre su espejo, el agua libre subterránea y el escurrimiento superficial. En estiaje, el aporte principal es el proveniente del caudal de base del agua subterránea (agua freática), en segundo término se sitúa la descarga del arroyo Girado, y eventualmente el de la laguna Del Burro. Los restantes arroyos que desembocan en la laguna se secan, con excepción de la zona de sus bocas, las que pueden permanecer anegadas por efecto remanso. Respecto al agua freática, el sistema es efluente-influente. En los períodos de balance hídrico positivo (precipitación > evapotranspiración), los aportes freáticos y superficiales son abundantes y el espejo lagunar se mantiene constante o asciende. Durante las inundaciones rebalsa, salvo en la costa oriental. En los años de balance negativo (evapotranspiración > precipitación) se produce el lento descenso de nivel en coincidencia con el descenso freático.

En síntesis, la recarga freática de la región es meteórica y la descarga se produce en la cubeta lagunar. Incluso la existencia de la laguna misma es debida al aporte freático. En condiciones hidrológicas de excesos pluviales estas relaciones pueden invertirse, al aumentar bruscamente el nivel lagunar, superando al freático, en cuyo caso la laguna cede agua al acuífero. Si el fenómeno es potenciado por las crecidas del río Salado, que impiden el desagüe de los excesos pluviales, o en el caso más drástico, cuando se produce la inversión del sentido de escurrimiento superficial, las aguas del río Salado ascienden en contracorriente e ingresan al sistema lagunar, produciendo inevitablemente el desborde, incluso el afloramiento de la capa freática en los sectores más bajos aledaños a la costa. Por otra parte, durante las sequías, aunque la laguna disminuya su nivel sigue recibiendo agua subterránea, en tanto exista gradiente hidráulico positivo entre la capa freática y la laguna, en caso contrario se seca.

En base a datos históricos y recientes de las fluctuaciones del nivel lagunar, y de las estadísticas climatológicas de Chascomús, se podrá llegar a establecer no solo el balance hídrico de la laguna, sino su comportamiento hidrológico en períodos de mayor o menor precipitación pluvial. Al respecto, es sabido que entre fines del S XIX y el S XXI, la laguna estuvo seca solamente en 1879, 1893 y 1910, pero que experimentó notables descensos de nivel en los años 1916, 1924, 1929/30, 1937, 1944, 1957, 1962, 1970, 1972/73, 1978, 2000 y 2006/08. Por otra parte, rebalsó, produciendo importantes anegamientos en los años 1900, 1914, 1940, 1958, 1963, 1978, 1980, 1985, 1988, 1993, 1998 y 2001. El nivel alcanzado en la creciente de 1985, aparentemente corresponde a la máxima inundación histórica producida en esta laguna.

## Conclusiones

Desde el punto de vista ambiental, este cuerpo de agua es un importante reservorio de agua dulce a levemente salobre, alimentado principalmente por agua freática y aprovechable para uso ganadero y recreativo. A su vez, representa un recurso natural renovable en estado de equilibrio dinámico con su entorno, que podría ser favorecido por medidas correctivas de recuperación, mantenimiento y conservación del lecho, costas y entorno lagunar.

La mitigación del proceso de colmatación es factible solamente por dragado de succión. Sin embargo, la degradación natural por acumulación de barros actuales en sí es poco importante (hasta 1 m), pero la capacidad receptora de la cubeta lagunar está limitada por el total de su relleno sedimentario, de ahí que su función reguladora en las inundaciones y la capacidad de reservorio resultan escasas. En este sentido, el estudio sedimentológico de los depósitos colmatantes, ha

permitido caracterizar más de 6 m de sedimentos de relleno, en cuyo espesor se han reconocido cuatro ambientes acuáticos superpuestos y uno terrestre, producto de los cambios geomorfológicos y climáticos del lapso Pleistoceno tardío-Actual. Los testimonios de los hechos geológicos se encuentran registrados no sólo en los depósitos del lecho, sino también en las escarpas de erosión (barrancas), lo que nos permite inferir que en la cubeta podrían haber funcionado hasta cinco ambientes acuáticos sucesivos, incluido el actual. De estos ambientes existen evidencias solamente de cuatro de ellos, de ahí que la limitación mayor para la reconstrucción paleoambiental surge de la ausencia de un registro sedimentario continuo, lo que hace necesario recurrir a otras disciplinas (paleo)ambientales y combinar la información para establecer directa o indirectamente la sucesión de los hechos geológicos de la región.

Por otra parte, en lo que se refiere a calidad ambiental del biótomo, cabe destacar que hasta 1980 ella se hallaba muy deteriorada, invadida casi totalmente por vegetación acuática, y en estado de degradación avanzada (afín a un pantano), la que posteriormente pasó a incipiente, debido al abrupto retroceso de las comunidades vegetales, que actualmente se restringen a una orla litoral de ciperáceas (mientras que la vegetación flotante y la sumergida han desaparecido). El extraordinario fenómeno ecológico de rejuvenecimiento de la laguna Adela es abarcativo de todo el sistema de las “lagunas Encadenadas” y estaría ligado a un cambio ecológico significativo, hecho que hasta ahora no ha sido evaluado. Referente a la contaminación, ésta es incipiente y se manifiesta a lo largo del eje de escurrimiento del sistema lagunar con valores de nitritos muy por encima de los aceptables. La fuente contaminante, a falta de otros poblados asociados por la red hídrica natural, se relacionaría con la descarga en el arroyo Girado de los efluentes cloacales de la localidad de Chascomús. Este hecho podría estar acelerando la degradación del ambiente lagunar, incluso introduciendo sustancias peligrosas al sistema.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires por la financiación del proyecto, mediante el subsidio Res. 694/05, al Ing. Jorge Giménez por la revisión del resumen en inglés y a los árbitros del trabajo.

### Referencias bibliográficas

- Adrogué, A. & Olivier, S. (1956). Lagunas Bonaerenses: Lagunas Encadenadas de Chascomús. Tercera colaboración: Lagunas Adela y del Burro. En: *Asuntos Agrarios*, año 6, n° 38. Ministerio de Asuntos Agrarios. La Plata.
- Aguesse, P. (1957). La classification des eaux poikilohalines, sa difficulté en Camargue, nouvelle tentative de classification. *Vie et Milieu*, 8 (4): 341-265.
- Ameghino, F. (1889). Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, Actas 6: 1028 pp.
- Burnet-Merlin, A. (1954). *Nombres de Chascomús. Topónimos de ayer y de hoy*. Editorial del Lago. Chascomús. 39 pp.
- Cann, J. & De Deckker, P. (1981). Fossil Quaternary and living Foraminifera from athalassic saline lakes, South Australia. *Journal of Paleontology* 55: 660-670.
- Carver, R. (Ed). (1971). *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley, New York. 653 pp.

- Castellanos, A. (1918). Observaciones preliminares sobre el Pleistoceno de la provincia de Córdoba. *Boletín Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, 23: 232-254.
- Dangavs, N. (1967). Relevamiento planialtimétrico, batimétrico y de vegetación emergente en las lagunas del sistema de Chascomús, del Sistema del Sudoeste de la provincia de Buenos Aires y en las lagunas del Sistema del Salado en Junín. En: *Trabajos Técnicos Tercera Etapa, T.1*, Capítulo 8. Convenio Estudio Riqueza Ictícola. CFI-MAA. Dirección de Recursos Pesqueros. 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. (2005a). Los ambientes acuáticos de la provincia de Buenos Aires. En: De Barrio, R., Etcheverry, R., Caballé, M. & Llambías, E. (eds.). *Relatorio 16º Congreso Geológico Argentino*, 13: 219-236. La Plata.
- Dangavs, N. (2005b). La Formación La Postrera I, II, III y IV de la laguna Las Barrancas de Chascomús, provincia de Buenos Aires. *16º Congreso Geológico Argentino, Actas* 4: 115-122. La Plata
- Dangavs, N. (2009a). Los paleoambientes cuaternarios del arroyo La Horqueta, Chascomús, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64 (2): 249-262.
- Dangavs, N. (2009b). Estratigrafía pleistocena tardía-holocena y paleolimnología de la laguna Chis Chis, Chascomús, Buenos Aires, Argentina. *4º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, 12º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Cuaternario y 2ª Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, Actas* CD, p. 300-309. La Plata.
- Dangavs, N. (2009c). Paleolimnología de las lagunas periódicas (secas) Esquivel, del Medio y El Espartillar, Chascomús, Buenos Aires. *4º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, 12º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Cuaternario y 2ª Reunión sobre el Cuaternario de América del Sur, Actas* CD, p. 290-299. La Plata.
- Dangavs, N. & Merlo, D. (1993). Contribución a la geolimnología de la laguna Vitel, Chascomús, Provincia de Buenos Aires. *Serie Ambiental*, año III, 22, 23 p. *CIC*, La Plata.
- Dangavs, N. & 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. *2º Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Actas*: 67-74. San Miguel de Tucumán.
- Dangavs, N. & Reynaldi, J. (2008). Paleolimnología de la laguna Cerrillo del Medio, Monte, provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63 (1): 29-42.
- Dangavs, N., Blasi, A. & Merlo, D. (1996). Geolimnología de la laguna Chascomús, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista del Museo de La Plata (NS), Sección Geología*, 11 (113): 167-195.
- Dillon, A. & 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*, p. 27. Tandil.
- Doering, A. (1884). Estudios hidrognósticos y perforaciones artesianas en la República Argentina. *Boletín Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, 6: 259-340.
- Erhart, H. 1956. *La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Esquisse d'une théorie géologique et géochimique. Biostasie et rhexistasie*. Masson et Cie, 90 p. Paris.
- Fidalgo, F. (1990). La Formación La Postrera. Simposio Internacional sobre Loess. *INQUA. Resúmenes Expandidos*: 78 - 83. Mar del Plata.
- Fidalgo, F., De Francesco, F. & Colado, U. (1973). Geología superficial en las Hojas Castelli, J. M. Cobo y Monasterio (Provincia de Buenos Aires). *5º Congreso Geológico Argentino, Actas* 4: 27-39. Carlos Paz.



- Figini, A., Fidalgo, F., Huarte, R., Carbonari, J. & Gentile, R. (1996). Cronología radiocarbónica de los sedimentos de la Fm. Luján en el arroyo Tapalqué, provincia de Buenos Aires. *4<sup>as</sup> Jornadas Geológicas Geofísicas Bonaerenses, Actas* 1: 119-126. Junín.
- Folk, R. (1968). *Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill's*, Austin, Texas. 170 pp.
- Frenguelli, J. (1925). Loess y limos pampeanos. *Anales de la Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA)*, 1:1- 80. Buenos Aires.
- Frenguelli, J. (1957). Neozoico. En: Geografía de la República Argentina. *Sociedad Argentina de Estudios Geográficos (GAEA)* 2, 3a parte: 1-113. Buenos Aires.
- Friedrich, G. 1982. Limnologie der flacher Seen und Talsperren. *Zeitschrift für Wasser und Abwasser-Forschung* 15: 81-88. Weinheim.
- Goudie, A. & Wells, G. (1995). The nature, distribution and formation of pans in arid zones. *Earth-Science Reviews* 38: 1-69.
- Hutchinson, E. (1957). *A treatise of Limnology I: Geography, physics and chemistry*. J. Wiley, New York. 1015 pp.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). (1989). *Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, escala 1:500.000*. Buenos Aires. 525 pp.
- Iriondo, M. (1994). Los climas cuaternarios de la región pampeana. *Comunicaciones del Museo Provincial de Ciencias Naturales "Florentino Ameghino"*, 4 (2): 1-48. Santa Fe.
- Iriondo, M. (1999). Climatic changes in the South American plains: Record of a continental-scale oscillation. *Quaternary International* 57/58: 93-122.
- Iriondo, M. & García, N. (1993). Climatic variations in the Argentine plains during the last 18.000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 101: 209-220.
- Iriondo, M. & Kröhling, D. (1995). El sistema eólico pampeano. *Comunicaciones Museo Provincial de Ciencias Naturales* 5 (1): 1-68. Santa Fe.
- Iriondo, M. & 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.
- Kapfer, A. & Konold, W. 1993. Seen, Teiche, Tümpel und andere Stillgewässer. Biotope erkennen, bestimmen, schützen. En: Hutter, C. P. (Ed.): *Weitbrecht Biotop-Bestimmungs-Bücher*. *Weitbrecht Verlag, Stuttgart*. 153 pp.
- Köppen, W. & Geiger, H. (1954). *Klima der Erde Karte*. Justus Perthus, Darmstadt. 220 pp.
- Maucha, R. (1932). *Hydrochemische Methoden in der Limnologie*. Die Binnengewässer, 12: 1 - 173. Stuttgart.
- Ministerio de Obras y Servicios Públicos (MOSP). Planillas de precipitaciones diarias, período 1888-1986. Origen SMN. *Dirección Provincial de Hidráulica, La Plata*. Inédito.
- Penck, A. 1894. *Morphologie der Erdoberfläche* 2. J. Engelhorn Verlag, Stuttgart. 667 pp.
- Riggi, J., Fidalgo, F., Martínez, O. & 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.
- Ringuelet, R. (1962). *Ecología acuática continental*. EUDEBA. Buenos Aires. 138 pp.
- 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.

- Scheffer, M. 1998. *Ecology of Shallow Lakes*. Chapman & Hall Publishers, London. 357 pp.
- Servicio Meteorológico Nacional. (1960). *Atlas Climático de la República Argentina*. 166 pp. Buenos Aires.
- Servicio Meteorológico Nacional. (1969). *Estadísticas climatológicas 1951-1960. Publicación B1, N° 6*. Tercera edición corregida, 156 pp. Buenos Aires.
- Servicio Meteorológico Nacional. (1985). *Estadísticas climatológicas 1961-1970. Estadísticas N° 35*. Segunda edición., 42 pp. Buenos Aires.
- Servicio Meteorológico Nacional. (1986). *Estadísticas climatológicas 1971-1980. Estadísticas N° 36*. Primera edición., 76 pp. Buenos Aires.
- Servicio Meteorológico Nacional. (1992). *Estadísticas climatológicas 1981-1990. Serie B, N° 37*. Primera edición., 174 pp. Buenos Aires.
- Sociedad Rural de Chascomús. *Datos pluviométricos del partido de Chascomús, período 1987/2003*. Chascomús. Inédito.
- Tonni, E. & Fidalgo, F. (1978). Consideraciones sobre los cambios climáticos durante el Pleistoceno tardío-Reciente en la provincia de Buenos Aires. Aspectos ecológicos y zoogeográficos relacionados. *Ameghiniana* 15 (1-2): 235-253.
- Tricart, J. (1969). *Le modèle des régions sèches*. SEDES, Paris. 472 pp.
- Wetzel, R. G. 1983. *Limnology*, 2ª Ed. Saunders College Publishing, Philadelphia, Pennsylvania. 767 pp.

**Recibido: ago-2012**  
**Aceptado: oct-2012**