

Aspectos evolutivos y ambientales de la laguna Mar Chiquita (provincia de Buenos Aires, Argentina)

Evolución geológica
Formas y procesos
Hidrogeología
Impacto ambiental
Laguna Mar Chiquita

Geological evolution
Forms and processes
Hydrogeology
Environmental impact
Mar Chiquita lagoon

J.L. Fasano ^a, M.A. Hernández ^b, F.I. Isla ^a, E.J. Schnack ^a

^a Centro de Geología de Costas (CIC-UNMDP), Tucumán 2473, 7600 Mar del Plata, Argentina.

^b Cátedra de Hidrogeología, Facultad de Ciencias Naturales (UNLP), Paseo del Bosque, 1900 La Plata, Argentina.

RESUMEN

Investigaciones geomorfológicas y estratigráficas, apoyadas en dataciones radiocarbónicas, han permitido obtener un cuadro evolutivo de la laguna. El ambiente albuferico se definió con posterioridad al máximo transgresivo (aproximadamente 5 000 años A.P.), como consecuencia de un rápido y pequeño descenso del nivel del mar coincidente con el establecimiento de una barrera hacia el este.

Las formas predominantes están vinculadas a la fase regresiva. Se distinguen cordones conchiles correspondientes a antiguas playas, dunas costeras y formas planas como la llanura marginal, actualmente planicie de inundación de la laguna, cuyo sustrato consiste en antiguos ambientes estuáricos. Las formas erosivas están representadas por el paleoacantilado labrado en sedimentos continentales pleistocénicos durante el máximo avance del mar, cuando su nivel era 2,0-2,5 m superior al actual, y las dunas costeras degradadas y edafizadas, relictos de la primitiva barrera que limitó al ambiente estuárico. El marco regional está dado por la Llanura Pampeana, desarrollada hacia el oeste de la laguna, caracterizada por un escaso gradiente topográfico.

La laguna Mar Chiquita, con una superficie media de 46 km² y una cuenca tributaria de alrededor de 10 000 km², se destaca por sus grandes variaciones de salinidad. Los estudios geohidrológicos ponen de manifiesto un carácter influente de las aguas subterráneas respecto a la albufera. Este aporte freático sería significativo para situaciones medias en relación al volumen medio almacenado, y en particular para épocas de estiaje prolongado. El ascenso de la capa freática, vinculado con el fenómeno de recarga rechazada, provoca grandes variaciones en el espejo de agua.

La boca de la laguna ejerce un control sobre su comportamiento hidrológico. Datos históricos y relevamientos realizados demuestran una tendencia migratoria hacia el norte con temporarias obstrucciones, lo que ha motivado la intervención del hombre. Esta acción ha ocasionado desequilibrios ambientales (erosión embancamientos, etc.). Las playas vecinas están sometidas a un rápido proceso erosivo.

Oceanol. Acta, 1982. Actas Simposio Internacional sobre las lagunas costeras, SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, Francia, 8-14 de Septiembre de 1981, 285-292.

ABSTRACT

Evolutional and environmental aspects of Mar Chiquita Lagoon (Buenos Aires province, Argentina).

Geomorphologic and stratigraphical investigations supported by some radiocarbon datings, have permitted us to approach a reconstruction of the evolution of Mar Chiquita lagoon. The estuarine body originated during the regressive phase that followed the transgressive « maximum » (about 5 000 years BP) which led to a relative sea-level stand of 2-2,5 m over present mean sea-level. After this maximum, a rapid and minor fall of sea level, coincidental

with the development of a southward-prograding barrier, restricted the estuarine environments which resulted in the formation of the lagoon.

Predominant landforms are related to the regressive phase: littoral shell ridges representing the old beaches; coastal dunes; and the marginal flat (« upper marsh »), built on the Holocene estuarine environments, presently acting as the lagoon « flood plain ». Erosive features are represented by the paleoclipf developed during the transgressive phase on the Pleistocene continental sediments and by a patch of degraded coastal dunes in the northeastern part of the area. The regional geomorphic setting is given by the « Pampas Plain », which extends west of the lagoon showing an extremely low topographic gradient. The origin of its landscape is attributable to the dry conditions that prevailed during the Late Pleistocene, as it is shown by the presence of numerous shallow deflation basins in many cases occupied by permanent water bodies.

Mar Chiquita lagoon has a mean surface of 46 km² and a drainage basin of about 10 000 km². It is subject to significant salinity variations. Hydrogeological investigations show the influent character of the water table in relation to the lagoon. This phreatic contribution plays an important role for standard meteorological conditions with regards to the « mean stored volume », and it is particularly significant in prolonged dry periods. The water table rise associated with the « rejected recharge » effect provokes important variations in the lagoonal body.

The lagoon inlet zone exerts an important control in its hydrological behaviour. Historical data and recent surveys indicate a northward migration pattern. This trend has been repeatedly contradicted by man causing environmental disturbances (e.g. erosion, silting). The neighbouring beaches are subject to a rapid erosive process, especially in the horizontal component.

Oceanol. Acta, 1982. International Symposium on coastal lagoons, SCOR/IABO/UNESCO, Bordeaux, France, 8-14 September, 1981, 285-292.

INTRODUCCION

La presente contribución forma parte de un plan de estudios integral tendiente a lograr un conocimiento adecuado de la laguna Mar Chiquita, única albufera de la Argentina, y contribuir de este modo a la solución de problemas de manejo costero en una zona que ya ha sido afectada por la intervención del hombre.

En trabajos anteriores (Schnack, Gardenal, 1979; Schnack *et al.*, en prensa a) se caracterizaron los depósitos y formas vinculados al último ciclo transgresivo-regresivo del Holoceno. Los criterios morfológicos y estratigráficos utilizados, más la datación radiocarbónica de moluscos hallados en los sedimentos ingresivos, permitieron la reconstrucción de la evolución de los ambientes vinculados a la laguna Mar Chiquita (Schnack *et al.*, en prensa b).

Como resultado de investigaciones hidrológicas, sedimentológicas y morfológicas sistemáticas, fue posible caracterizar los ambientes de esta región desde el punto de vista hidrodinámico e hidroquímico, aproximar una cuantificación de la descarga subterránea directa a la laguna y establecer las características dinámicas de la zona de desembocadura.

GEOLOGIA SUPERFICIAL

Dentro del área de estudio (Fig. 1) se han distinguido depósitos pleistocenos continentales y holocenos transicionales y marinos (Fig. 2).

Pleistoceno

Formación Santa Clara

Los sedimentos continentales asignados a la Formación Santa Clara están compuestos por limos de coloraciones castaño amarillentas a rojizas, con abundante contenido en vidrio volcánico y Co₃Ca (« tosca ») dispuesta como nódulos, tabiques y bancos horizontales. Estos sedimentos corresponden a ambientes eólicos con participación de pequeños cauces y procesos de remoción en masa. Constituyen los terrenos sobre los cuales se desarrolló la llanura pampeana,

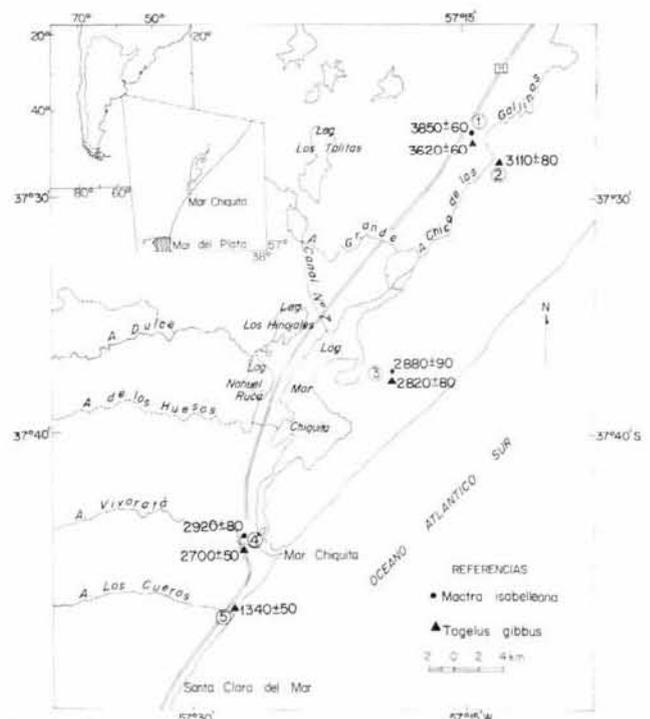


Figura 1
Mapa de ubicación y de los puntos de muestro para dataciones radiocarbónicas.
Location map and radiocarbon dating points.

caracterizada por sus bajos gradientes topográficos (0,08 %) hacia el este. Las suaves pendientes dificultan el drenaje de esta zona, provocando anegamientos en períodos más húmedos que los normales.

Estos depósitos, parcialmente equivalentes a la Formación Pampiano (Fidalgo *et al.*, 1973), se asocian a un clima árido a semi-árido, como lo demuestra el contenido fosilífero de vertebrados citados para otras áreas de la provincia de Buenos Aires. Su edad, de acuerdo a las asociaciones de

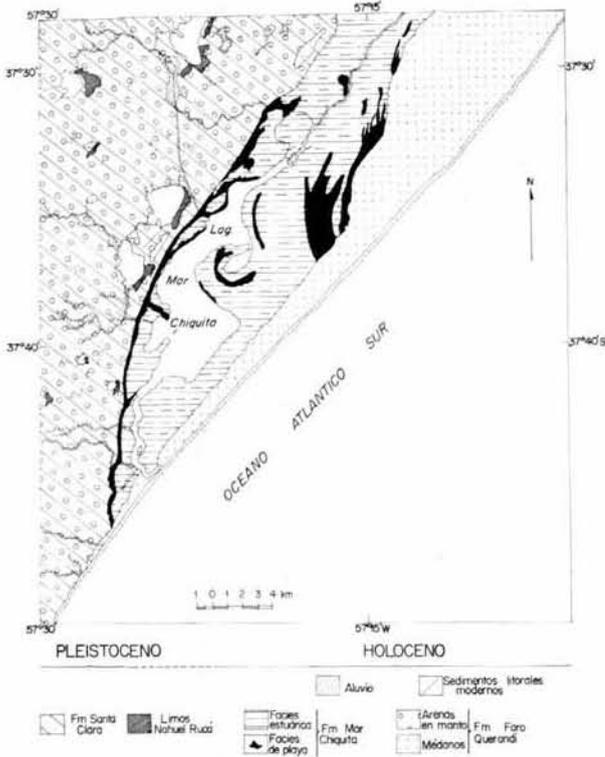


Figura 2
Bosquejo geológico de la región de Mar Chiquita (según Schnack *et al.*, en prensa b)
Geological sketch of Mar Chiquita lagoon area (after Schnack et al., in press b).

vertebrados, corresponde a la Edad-mamífero « Lujanense » (Pleistoceno superior ; Pascual *et al.*, 1965). El máximo espesor aflorante de estos depósitos es de alrededor de 7 metros en los acantilados costeros al sur de la laguna. Suprayacen a esta unidad, en discordancia erosiva, los sedimentos holocénicos de la Formación Mar Chiquita (Fig. 2). En la llanura marginal, el techo de los sedimentos pleistocénicos se halla a unos 2,5 m de profundidad, es decir, aproximadamente al nivel del mar. En los casos en que se encuentra aflorante, es posible hallar un paleosuelo desarrollado en su techo, con estructura prismática bien marcada (Fig. 3), de una posible edad Pleistoceno tardío-Holoceno medio.

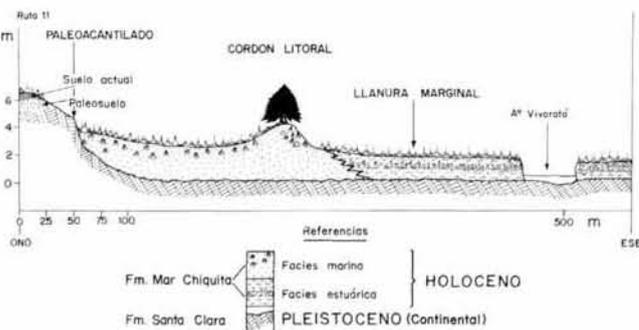


Figura 3
Perfil esquemático de las principales unidades litoestratigráficas (según Schnack *et al.*, en prensa a).
Schematic profile of the main lithostratigraphic units (after Schnack et al., in press a).

Limos Nahuel Rucá

Constituyendo áreas elevadas con respecto a la llanura circundante, las dunas de limo que caracterizan a esta

unidad bordean por el este a depresiones ampliamente distribuidas en la región pampeana. Producen resaltos topográficos que superan los 10 metros, y están constituidas principalmente por limos sin estructura, de color castaño amarillento claro, con abundante CO₃Ca pulverulento. Se las ha asociado a un relieve de deflación-acumulación (Tricart, 1973). De acuerdo a las evidencias de campo, el ciclo eólico al que se las vincula habría comenzado en el Pleistoceno tardío y podría haber continuado durante el Holoceno temprano.

Holoceno

Formación Mar Chiquita

Se han distinguido depósitos marinos y estuáricos, que representan estadios evolutivos característicos.

Facies marina

Representada fundamentalmente por cordones litorales con abundantes valvas de moluscos, esta unidad consiste en depósitos bien estratificados, inclinando suavemente hacia el mar, con alternancia de valvas de moluscos y capas arenosas. La presencia de escasos rodados limolíticos aplanados, de 1 a 3 cm de diámetro mayor, en contraste con la situación de las playas actuales que muestran mayores y más abundantes clastos psefíticos, indicaría condiciones energéticas menores que las presentes.

Estas acumulaciones se expresan en forma acordonada, destacándose del ambiente llano, uniforme y bajo de la llanura marginal. La altitud máxima reconocida es de 4,3 m s.n.m. y corresponde a los cordones más occidentales. El máximo espesor observado es de 2,5 m aproximadamente. La fauna de moluscos se halla representada por: *Maetra isabelleana*, *Ostrea* sp., *Olivella plata* y *Littoridina australis*. Se trata de restos o fragmentos retrabajados por acción marina.

Facies estuárica

Los depósitos pertenecientes a esta unidad ocupan principalmente la parte oriental de esta región. Con un máximo espesor reconocido de 2,4 m, esta unidad facial se halla constituida por arenas arcillosas de coloraciones gris verdosas predominantes, sin estructuras sedimentarias visibles. Se han determinado preliminarmente las asociaciones macro y microfaunísticas, las que han permitido establecer el carácter salobre del ambiente de depositación.

Los moluscos más comunes son: *Tagelus gibbus*, *Maetra isabelleana*, *Amiantis purpurata*, *Marginella prunum*, *Adeledon* sp., y *Littoridina* sp.

Entre los foraminíferos, se destacan principalmente: *Rotalia beccari*, *Elphidium discoidale*, *Buccella peruviana campsi*, *Quinqueloculina patagónica*, *Discorbis willamsoni* y *Bolivina* sp.

Los ostrácoros más frecuentes son: *Cyprideis hartmanni*, *Limnocythere* sp., *Pampacythere* sp., *Leptocythere* sp. y *Cytherura* sp.

Los criterios sedimentológicos, morfológicos y paleontológicos utilizados permiten establecer el carácter salobre de estos depósitos. Tanto la macro como la microfauna son similares a las formas vivientes en la zona (Lena, L'Hoste, 1975).

Estos antiguos depósitos estuáricos constituyen el sustrato de la llanura marginal (marisma alta), caracterizada por su extremadamente baja pendiente (inferior a 0,06 %). Sobre ella se han desarrollado suelos sódicos que soportan una vegetación halófila. En algunos sectores este suelo contiene abundante materia orgánica y presenta características « turbosas » indicadoras de condiciones pantanosas durante la fase regresiva. Aflora en la playa, con posterioridad a la producción de tormentas que lo descubren como banco de erosión, al norte y al sur de la desembocadura de la laguna, y se encuentra sobreyaciendo a sedimentos arcillo arenosos verdes portadores de moluscos estuáricos.

La llanura marginal se halla desarrollada a una altitud de

aproximadamente 2 m s.n.m. A unos 30-40 cm de profundidad se encuentra un nivel más o menos continuo de moluscos, principalmente *Tagelus gibbus* y *Macra isabelleana*, muy bien conservados y en posición de vida, que fueron seleccionados para dataciones radiocarbónicas. Los depósitos de playa y estuáricos se vinculan en una relación facial simple (Fig. 3).

Todas las unidades citadas han sido cubiertas por arenas en manto (principalmente al oeste) y por dunas costeras. Por otra parte, sobreyacen en discordancia erosiva a los sedimentos de la Formación Santa Clara.

Formación Faro Querandí

Corresponde a los sedimentos eólicos citados en el párrafo anterior, dispuestos en forma de manto o como dunas costeras. El ciclo eólico al que están asociados tuvo lugar durante los eventos transgresivo-regresivos del Holoceno y su evolución continúa hasta nuestros días. Los depósitos más antiguos corresponden a las dunas remanentes del máximo avance del mar, ubicadas inmediatamente al oeste del cordón litoral más continuo. En el sector noreste existe un sector de sedimentos eólicos degradados y fijos.

ESQUEMA EVOLUTIVO

La depositación de los sedimentos de la Formación Santa Clara durante el Pleistoceno superior ocurre en condiciones climáticas frías y secas (Tricart, 1973; Fidalgo, Tonni, 1979). Estas condiciones prevalecieron en numerosas partes del mundo durante los hem Ciclos glaciales (Fairbridge, 1970). En el área de estudio, esta situación climática parece haber continuado durante la parte inicial del hem ciclo deglacial, originando los Limos Nahuel Rucá.

Frenguelli (1935), con referencia al origen de la laguna Mar Chiquita, lo vinculó con una antigua entrada de mar, en base al contenido diatómico de los sedimentos equivalentes a la Formación Mar Chiquita (Schnack *et al.*, en prensa b). Estudios posteriores (Schnack, Gardenal, 1979; Schnack *et al.*, en prensa a y b) han permitido obtener un cuadro más acabado de la evolución de este sector del litoral bonaerense. Especiales precauciones se tomaron para el muestreo de fósiles para su posterior datación radiocarbónica. El material seleccionado, consistente en restos de *Tagelus gibbus* y *Macra isabelleana*, se caracterizaba por:

- 1) poseer sus valvas articuladas;
- 2) *Tagelus gibbus* se hallaba en posición de vida;
- 3) *Macra isabelleana*, si bien presentaba su posición ligeramente disturbada, no mostraba signos de abrasión.

Las edades radiocarbónicas proporcionadas por el INGEIS (Instituto Nacional de Geocronología y Geología Isotópica, Universidad de Buenos Aires) varían entre 3850 ± 60 y 1340 ± 50 años A.P. (Fig. 1), siendo más antigua la fauna encontrada al norte. Si bien se tiene en cuenta la posible incidencia de factores contaminantes (e.g. aguas meteóricas, subterráneas, materia orgánica), las edades obtenidas concuerdan aceptablemente con aquellas dadas por otros investigadores (Corteleszi, Lerman, 1970; Corteleszi, 1977; Fidalgo, 1979) para sedimentos similares del litoral bonaerense.

El origen y evolución de la laguna Mar Chiquita está vinculado a la formación de barreras litorales. Fisher (1968) vincula la génesis de las barreras al crecimiento de espigas por corrientes litorales. Leontyev y Nikiforov (1966) explican la formación de barreras por emergencias de barras submarinas debido a descenso del nivel del mar. Más probablemente exista un conjunto de factores intervinientes, como lo señala Schwartz (1971) para la formación de islas de barrera.

La comparación altimétrica de los rasgos de playa actuales (bermas, plataformas de abrasión), suponiendo en primera aproximación un rango de mareas semejante al existente en la actualidad, permite inferir un máximo ascenso del nivel del mar de aproximadamente 2-2,5 m sobre el actual, unos

5 000 años A.P. Como consecuencia de esto, ocurre la depositación de los cordones litorales más occidentales. Siguiendo un pequeño descenso del nivel del mar, la fase regresiva coincide con el establecimiento y avance de una barrera de carácter regional hacia el sur en la porción oriental del área, originando los ambientes estuáricos que darían lugar a la formación de una laguna costera. El nivel del mar continuó descendiendo hasta alcanzar una posición ligeramente inferior a la actual, hace aproximadamente 1000 años A.P. (Fig. 4).

El gran desarrollo areal de los ambientes estuáricos (lagunas) y el escaso espesor de sus depósitos se pueden explicar por la baja pendiente de la zona y la ausencia de una marcada subsidencia. De la etapa transgresiva, caracterizada por un predominio de la erosión, se conservan fundamentalmente las plataformas de abrasión y acantilados. A la fase regresiva, con mayores probabilidades de preservación de las secuencias sedimentarias (Thompson, 1937), corresponden casi exclusivamente los depósitos de la Formación Mar Chiquita.

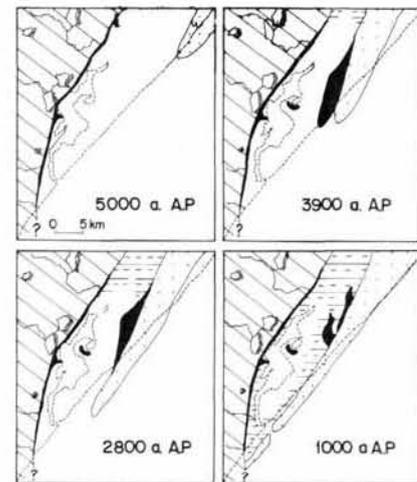


Figura 4
Esquema evolutivo de la laguna Mar Chiquita (según Schnack *et al.*, en prensa b).

Stages in the evolution of Mar Chiquita lagoon (after Schnack *et al.*, in press b).

ASPECTOS AMBIENTALES

Clima

Desde el punto de vista climático, el área de estudio corresponde a un clima subhúmedo-húmedo con poca o nula deficiencia de agua, mesotermal con concentración de la eficacia térmica en verano, según la clasificación de Thornthwaite (en Burgos, Vidal, 1951).

La precipitación media anual es de 790 mm, considerando los valores modulares de las estaciones Vivotatá y Calfucurá para un período de 30 años (1921-1950), con la estación otoñal más húmeda (219 mm) y la invernal más seca (162 mm). Los meses extremos son Marzo (92,5 mm) y Julio (46,5 mm).

La evapotranspiración real fue estimada mediante la aplicación de las fórmulas empíricas de Thornthwaite, utilizando el módulo pluviométrico ya mencionado y las temperaturas de la estación climatológica Mar del Plata, suficientemente próxima y del mismo lapso. Los valores alcanzan a 713 mm/año, significando un exceso hídrico de 77 mm.

Formas y procesos

La actual llanura marginal, edificada por sedimentación estuárica asociada a la fase regresiva (Fig. 2, 3 y 4) ocupa un importante sector del área de estudio. La paulatina restricción del ambiente albuferico — por colmatación y ensancha-

miento de la barrera oriental — ha disminuído progresivamente el efecto marino en la laguna. Esta situación provoca, en la actualidad, esporádicas inundaciones coincidentes con períodos de grandes precipitaciones. Debido a la naturaleza ingresiva del sustrato holocénico (texturalmente arenarcilloso, en proporciones variables), éste mantiene las características sódicas del suelo y el desarrollo de la vegetación halófila. La escasa pendiente del terreno y la proximidad de la roca de base impermeable (Pleistoceno), favorecen la persistencia de inundaciones asociadas al fenómeno de « recarga rechazada ». A su vez, los cordones conchiles que emergen de la llanura marginal tienen una disposición transversal al sentido de flujo. Se han construído puentes y terraplenes de caminos y canales que dificultan aún más el drenaje superficial. En los sectores sur y este, la llanura marginal está siendo transgredida por sedimentos cólicos provenientes del sistema de dunas costeras. En las depresiones intermedanas es posible que persistan acumulaciones de agua gracias a la naturaleza impermeable del sustrato subyacente.

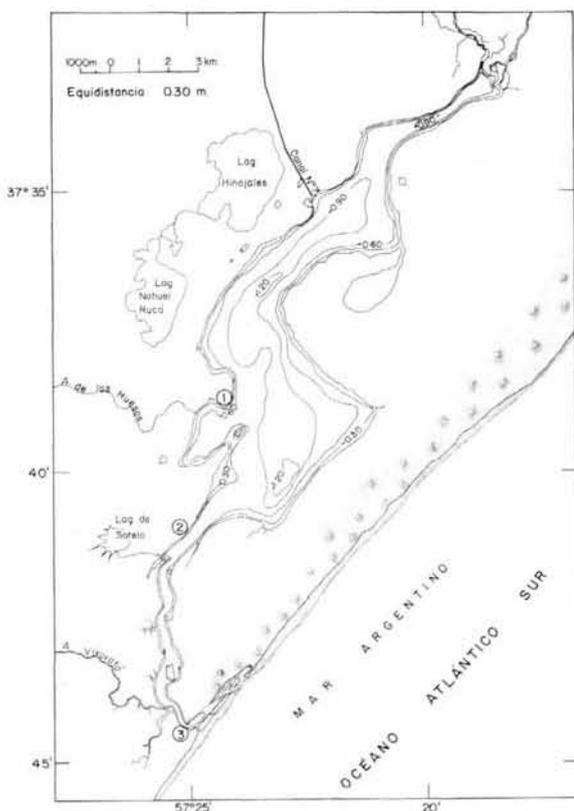


Figura 5
Batimetría de la laguna Mar Chiquita, basada en la Carta n° 29 del Servicio Hidrográfico del Ministerio de Marina (1932). Las profundidades están referidas al nivel de bajamares de sicigias medias.
Bathymetry of Mar Chiquita lagoon, based on the Argentine Hydrographic Survey Chart Nr. 29 (1932). Depths referred to mean spring low tides.

Las llanuras de marcas (playas interiores) son de escasa anchura y están constituidas por arenas finas provenientes del retrabajamiento de los sedimentos de la Formación Mar Chiquita y del aporte de pelitas por arroyos y canales. El fondo de la laguna es principalmente limo arenoso en la parte ancha; en el sector más estrecho es más arenoso. La albufera se caracteriza por su escasa profundidad, alcanzando valores máximos que normalmente no superan 1,20 m (Fig. 5), excepto en las proximidades de la desembocadura, donde se alcanzan hasta 2-3 m, en ocasiones debido a la acción de dragado. Olivier et al. (1972) establecieron una zonación de las comunidades bentónicas en un sector estrecho de la laguna

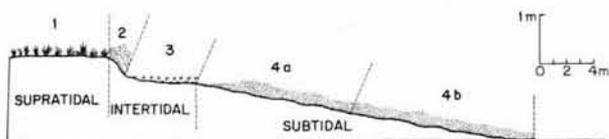


Figura 6
Zonación de las comunidades bentónicas de la laguna Mar Chiquita en las proximidades de la desembocadura del arroyo Vivoratá: 1) comunidad de *Spartina densiflora*; 2) comunidad de *Chasmagnathus granulata*; 3) comunidad de *Uca uruguayensis*; 4a) comunidad de *Laeonereis pandoensis* facie *Tagelus gibbus*; 4b) comunidad de *L. pandoensis* facie *Cyrtograpsus angulatus* (según Olivier et al., 1972, modificado).
Zonation of benthic communities near Vivoratá Creek: 1) Spartina densiflora community; 2) Chasmagnathus granulata community; 3) Uca uruguayensis community; 4a) Laeonereis pandoensis, community, facies Tagelus gibbus; 4b) L. pandoensis community, facies Cyrtograpsus angulatus (after Olivier et al., 1972, with minor modifications).

(Fig. 6). En la zona « supratidal » (llanura marginal o marisma alta) distinguieron una comunidad dominada por *Spartina densiflora* como especie pionera; el « espartillar » se completa con *Salicornia ambigua* y otras especies vegetales y animales. En la zona « intertidal » se distingue principalmente una comunidad de *Uca uruguayensis*, que caracteriza a la llanura de mareas. La zona « subtidal » está ocupada por una comunidad de *Laeonereis pandoensis*, excepto en el canal central, donde domina la comunidad de

Mercierella enigmatica.

Merece especial consideración el desarrollo de *Mercierella enigmatica*. Esta comunidad, constituida por concreciones biogénicas calcáreas con aspecto de « arrecife », se halla ampliamente distribuida en la laguna Mar Chiquita y en porciones inferiores de canales y arroyos que desembocan en la albufera (Orensanz, Estivariz, 1971). Este poliqueto cosmopolita y originario del Océano Indico parece haber proliferado recientemente al punto que se pueden encontrar grandes « bochones » (como se los denomina localmente) en los canales artificiales practicados en la zona nororiental de la laguna. Por otra parte, estos bochones han dificultado la navegación deportiva, y llegan a aflorar en la baja marea. Toman la forma de discos concéntricos, cuya base se apoya



Figura 7
Bosquejo de formas en la zona de desembocadura de la laguna Mar Chiquita. Nótese la distinción entre marisma alta inferior (A) y superior (B). Esta última presenta una importante acumulación de arenas provenientes del cordón medanoso costero.
Small scale morphology of Mar Chiquita lagoon inlet area. Note the distinction between the inferior "upper marsh" (A) and the superior "upper marsh" (B). The latter shows a thick aeolian accumulation supplied by the adjacent coastal dunes.

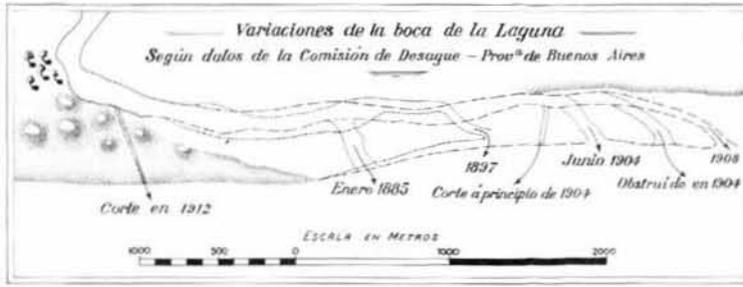


Figura 8
Migración histórica de la boca de la laguna (según Storni, 1915).
Historical migration pattern of Mar Chiquita lagoon inlet (after Storni, 1915).

sobre un sustrato duro, preferentemente los limos entoscados del Pleistoceno.

Existen referencias históricas de una colmatación terrígena de la laguna. En 1931, la parte ancha de la albufera « ... parecía tener igual o quizás menor profundidad... » que la sondada en 1916; en la zona estrecha, la pérdida de calado era notable (Zar, 1931).

La zona de desembocadura de la laguna Mar Chiquita (Fig. 7) ejerce una marcada influencia en el interior del cuerpo estuárico. Esta pequeña boca de micromareas (0,6 m para cuadraturas medias y 1 m para sicigias medias) [SHN (Servicio de Hidrografía Naval), 1978] presenta una notoria tendencia migratoria hacia el norte. Este situación se ha manifestado a lo largo de décadas (Fig. 8) y ha originado repetidas obstrucciones de la desembocadura, provocando al mismo tiempo periódicos desequilibrios ambientales en la laguna; impedimento del escurrimiento superficial hacia el mar resultante en el anegamiento de los sectores marginales, variaciones de parámetros físico-químicos y perturbaciones ecológicas. La acción del hombre en esta desembocadura, a través de la excavación de canales de descarga contrariando la tendencia migratoria natural, ha provocado efectos perturbadores en la zona. Estos efectos se han manifestado como embancamientos en sectores interiores y erosión de las márgenes de la laguna. Dentro del esquema migratorio hacia el norte, se han observado inversiones estacionales hacia el sur, principalmente durante el verano. Es en esta época que se observa un mayor desarrollo del « delta de flujo », que disminuye sensiblemente su volumen luego de períodos lluviosos prolongados, como aconteció posteriormente a las tormentas de abril y mayo de 1980. El material erosionado se deposita sobre las márgenes de la desembocadura, preferentemente sobre la septentrional, conformando un « delta de reflujo asimétrico ».

Las playas vecinas, especialmente aquéllas situadas al sur de la boca, muestran un rápido proceso erosivo en la componente horizontal, habiéndose determinado valores de retroceso que superan los 5 m/año.

Caracteres hidrologicos e hidroquimicos

Desde el punto de vista hidrogeológico de subsuelo, en la región se encuentran las secciones « epiparanianas » y « paranianas » definidas por Sala (1975), para la provincia de Buenos Aires. La sección « paraniana », constituida por sedimentos arcillosos de coloraciones azules y verdosas, con abundante yeso y anhidrita e intercalaciones arenosas, representa una transgresión marina de edad miocena (Frenquelli, 1950). Se la encuentra a unos 100 m de profundidad. Sobreyaciéndola, la sección « epiparaniana » está integrada por un complejo sedimentario principalmente pelítico (limo loessoide), constituyendo un subsistema multiunitario caracterizado por una anisotropía vertical de comportamiento regional homogéneo.

Los ambientes hidrogeológicos de superficie muestran coincidencia con las grandes unidades morfológicas y geológicas definidas (Fig. 2), diferenciándose aquellos de permeabilidad relativamente alta (cordones conchiles, dunas costeras y llanura marginal) y los de mediana a baja permeabilidad (menor a 5 m/día) desarrollados en la zona denominada « llanura pampeana », cuyo sustrato está constituido por

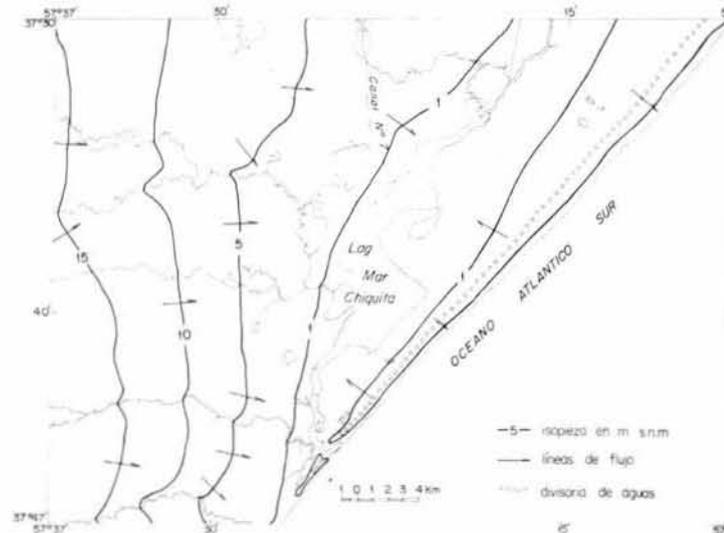


Figura 9
Mapa isofreático de la región de Mar Chiquita.
Isophreatic map of Mar Chiquita lagoon area.

sedimentos continentales pleistocenos (Formación Santa Clara).

En base al censo de 140 perforaciones realizado en la primavera de 1979, se determinaron los gradientes hidráulicos y la dirección de flujo de las aguas subterráneas (Fig. 9). Promediando los valores en ambas márgenes, se obtuvo un valor de gradiente hidráulico de 0,06 %. El sentido de escurrimiento subterráneo regional es de oeste a este, invirtiéndose en la zona oriental para converger hacia la laguna, actuando ésta en consecuencia como nivel de base transitorio de la descarga subterránea directa de los terrenos circundantes, y de la indirecta (caudal de base), aportada por los arroyos tributarios. La morfología resultante ofrece una tendencia planar al sur del arroyo Los Huesos, y cilíndrica con concavidad hacia la superficie al norte. El comportamiento de las aguas subterráneas con respecto a los cursos superficiales exhibe un carácter influente, de igual modo que con respecto a la laguna Mar Chiquita.

Una cuantificación de los volúmenes aportados por las aguas subterráneas se puede obtener a partir de la fórmula de Darcy :

$$Q = T \cdot i \cdot m \text{ donde } T = \text{transmisividad (m}^2/\text{día)} ;$$

$$i = \text{gradiente hidráulico} ;$$

$$m = \text{longitud de la sección de salida (m)}.$$

La cuantificación de T, al no contar con determinaciones en la zona, se resolvió mediante la estimación de un valor en función de permeabilidades cualitativamente apreciadas, y de un espesor saturado ponderado. Aunando los valores de permeabilidad obtenidos mediante tablas en función de las características, especialmente granométricas, de los sedimentos (Custodio Gimena, Llamas Madurga, 1976), y la ubicación de una capa freática dentro del conjunto multiunitario de sedimentos cuaternarios, se obtuvo un valor de $T = 50 \text{ m}^2/\text{día}$. Para el gradiente considerado, y tomando como m el perímetro de la laguna (73,06 km), se obtuvo una

Tabla

Variaciones estacionales de temperatura y salinidad del agua en la laguna Mar Chiquita, período 1979/1980 (sobre mediciones mensuales, a excepción de la primavera, con una sola determinación en cada localidad).

Seasonal variations in water temperature and salinity at Mar Chiquita lagoon, period 1979/1980 (average values from monthly measurements except for spring with only one record at each locality).

	Temperatura (°C)				Salinidad (‰)			
	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Recreo Galán ①	25,5	16,8	7,4	23,0	17,7	12,7	9,2	4,3
Recreo San Gabriel ②	23,2	15,9	6,6	22,0	21,4	20,7	10,8	8,5
Canal de Desembocadura ③	21,0	15,0	8,0	21,2	33,1	26,0	18,2	30,3

descarga directa anual del orden de $0,8 \text{ Hm}^3/\text{año}$. Siendo el volumen medio de la laguna de $36,8 \text{ Hm}^3$ (área = 46 km^2 ; profundidad media = $0,8 \text{ m}$), el aporte directo subterráneo representa el 2,2 % de aquel. La adición del caudal básico, de acuerdo a los hidrogramas realizados para los arroyos de la zona y teniendo en cuenta los caudales descargados, incrementaría la magnitud del aporte subterráneo total en forma considerable.

Estos aportes adquieren su real significación en tiempos de estiaje prolongado, es decir cuando disminuyen las contribuciones directas por precipitación y las superficiales, siendo un factor de regulación de los volúmenes hídricos. Es posible definir los ambientes hidrogeológicos en base a sus características hidroquímicas. Se destacan los valores elevados de salinidad que adquieren las aguas en la zona marginal, siendo causa de ello la convergencia de varios factores: bajos gradientes hídricos (que permiten un mayor tiempo de contacto agua-sedimento), la presencia de un sustrato sedimentario de origen estuárico y marino (Formación Mar Chiquita), la poca profundidad de la zona de saturación y fenómenos de disolución y evapotranspiración. En la Tabla se detallan las variaciones estacionales de temperatura y salinidad del agua para tres localidades de la

costa de la laguna (Fig. 5). Los valores obtenidos muestran mayores variaciones estacionales promedio (verano-invierno) de la salinidad en la zona de la desembocadura y máximos contrastes térmicos hacia las cabeceras.

En la figura 10 se pueden observar las variaciones en la composición de las aguas de la laguna Mar Chiquita para un período seco (1979) y otro húmedo (1980). Para el primero, las relaciones iónicas son semejantes a las del mar, si bien las concentraciones individuales de los distintos iones son mayores. La salinidad de las aguas de la laguna para este período seco alcanzó valores de hasta 52‰. Comparando los análisis para ambos momentos se observa que las variaciones más importantes corresponden a los iones más solubles (Cl^- , Na^+ , K^+ y Mg^{++}). El contenido de CO_3H^- permanece prácticamente inalterado debido al equilibrio con el CO_2 atmosférico y al efecto regulador originado por la precipitación de CO_3Ca atribuible a *Mercierella enigmatica*.

Las aguas del cordón conchil y de las dunas costeras muestran una clara independencia de aquéllas que caracterizan la llanura marginal, debido a sus características morfológicas y la alta permeabilidad.

En el ambiente de la « llanura pampeana » se observa un incremento salino por recorrido de las aguas subterráneas a partir de la zona de recarga ubicada al oeste de Mar Chiquita (sierras septentrionales). De esta forma las aguas al sur del arroyo Dulce son menos evolucionadas que las del norte.

DIAGRAMA DE SCHOELLER

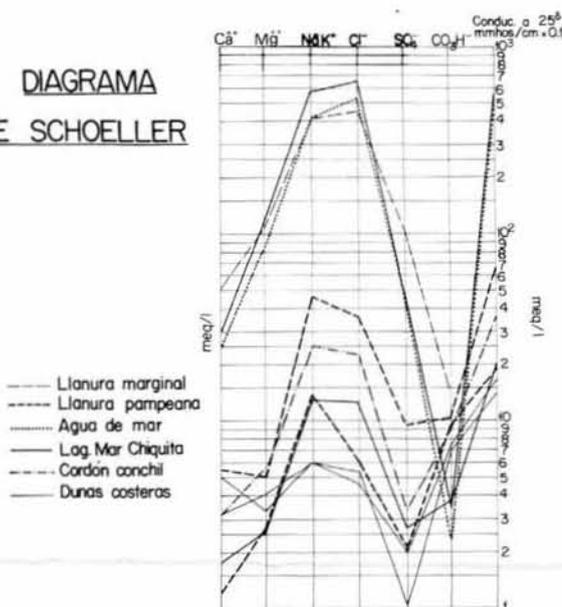


Figura 10
Variaciones en la composición química de las aguas de la laguna Mar Chiquita para un período seco (1979) y otro húmedo (1980).
Variations in the chemical composition of the lagoon water for two contrasting periods: 1979 (dry) and 1980 (wet).

CONSIDERACIONES FINALES

La laguna Mar Chiquita es la única albufera propiamente dicha de la República Argentina. Sus caracteres evolutivos están íntimamente ligados al avance y retroceso marino vinculados a las oscilaciones relativas del nivel del mar que tuvieron lugar durante el Holoceno. Como consecuencia de ello, se originaron los ambientes estuáricos que dieron lugar a la formación de la albufera. Estos ambientes se establecieron con posterioridad al máximo transgresivo, que significó una elevación relativa del nivel del mar de aproximadamente 2-2,5 m sobre el actual. La fase regresiva, que coincidió con el avance de una barrera de carácter regional hacia el sur, condujo a la restricción progresiva del ambiente estuárico.

El funcionamiento natural de la laguna está condicionado por diversos factores concurrentes: la morfología, caracterizada por el escaso gradiente; la presencia de un sustrato impermeable a escasa profundidad; la naturaleza ingresiva de los sedimentos holocénicos, y la acción reguladora de su

desembocadura en el mar. Estos factores, unidos a la influencia de variables climáticas, influyen notoriamente en la dinámica de la laguna. Los efectos más notables son las inundaciones, vinculadas en gran medida a ascensos de la capa freática, y los procesos erosivos que tienen lugar en la zona de desembocadura. Son notables, por otra parte, las variaciones de salinidad en situaciones climáticas contrastantes.

La acción humana, a través de la excavación de canales, construcciones diversas, dragado y terraplenado, ejerce una marcada influencia, en muchos casos perturbadora, en el funcionamiento del ecosistema. Sus consecuencias no han sido aún evaluadas en forma integral.

Los estudios multidisciplinarios encarados permitirán obtener una caracterización ambiental que proveerá bases científicas para un adecuado manejo de una zona que, contando con un incipiente desarrollo urbano y turístico, aún no ha sido seriamente perturbada por la acción del hombre, como lo acontecido en ambientes similares de otras regiones de la Tierra.

Agradecimientos

Los autores expresan su reconocimiento a aquellas personas que contribuyeron de diversas maneras a la concreción de este trabajo. La Dra. Zulma Castellanos determinó la fauna de moluscos y el Lic. A. Mujica identificó los foraminíferos y ostrácosos. M. Bernasconi y A. Dirisio realizaron el trabajo de dibujo y cartografía. El Sr. Miguel Scelzo participó en los vuelos en los que tuvo a cargo la toma de fotografías aéreas, realizando también el procesamiento de las mismas. La dataciones radiocarbónicas fueron realizadas por el INGEIS (Instituto Nacional de Geocronología y Geología Isotópica, Universidad de Buenos Aires), sin cargo. En esta condición, la Dirección de Obras Sanitarias de la Provincia de Buenos Aires ha realizado los análisis químicos de agua para el proyecto hidrogeológico de la laguna Mar Chiquita. Los trabajos referentes a esta contribución fueron financiados con los subsidios institucionales otorgados al Centro de Geología de Costas por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

REFERENCIAS

- Burgos J. J., Vidal A. L., 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite, *Meteoros*, 1, 1, 3-32.
- Cortelezzi C. R., 1977. Dataciones de las formaciones marinas del Cuaternario en las proximidades de La Plata-Magdalena, provincia de Buenos Aires, *LEMIT, Ser. II*, 342, 77-93.
- Cortelezzi C. R., Lerman J. C., 1970. Estudio de las formaciones marinas de la costa atlántica de la provincia de Buenos Aires, *LEMIT, Ser. II*, 178, 135-164.
- Custodio Gimena E., Llamas Madurga M. R., 1976. *Hidrología subterránea*, Ed. Omega, Barcelona.
- Fairbridge R. W., 1970. World paleoclimatology of the Quaternary, *Rev. Géogr. Phys., Géol. Dyn.*, 2, 12, Fasc. 2, 97-104.
- Fidalgo F., 1979. Upper Pleistocene-Recent marine deposits in northeastern Buenos Aires province (Argentina), *Proc. Int. Symp. on Coastal Evolution in the Quaternary, São Paulo, Brasil*, 1978, 384-404.
- Fidalgo F., Tonni E., 1979. Aspectos paleoclimáticos del Pleistoceno tardío-Reciente en la provincia de Buenos Aires, *II Reunión Informativa del Cuaternario Bonaerense (Trenque-Lauquen), Resúmenes CIC (La Plata)*, 21-28.
- Fidalgo F., Colado U., De Francesco F. O., 1973. Sobre ingresiones marinas cuaternarias en los partidos de Castelli, Chascomús y Magdalena (provincia de Buenos Aires), *Actas Vº Congr. Geol. Arg.*, III, 227-240.
- Fisher J. J., 1968. Barrier island formation: discussion, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 79, 1421-1426.
- Frenguelli J., 1935. Diatomeas de la Mar Chiquita al norte de Mar del Plata (Buenos Aires), *Notas del Museo de La Plata*, 1, 121-140.
- Frenguelli J., 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires, *LEMIT, Ser. II*, 33, La Plata.
- Lena H., L'Hoste S. G., 1975. Foraminíferos de aguas salobres (Mar Chiquita, Argentina), *Rev. Esp. Micropaleontol.*, 7, 539-548.
- Leontyev O. K., Nikiforov L. G., 1966. An approach to the problem of the origin of barrier bars, *Int. Oceanogr. Congr., 2nd. Abstr. Pap.* 221-222.
- Olivier S. R., Escofet A., Penchaszadeh P., Orensanz J. M., 1972. Estudios ecológicos de la región estuarial de Mar Chiquita (Buenos Aires, Argentina), I. Las comunidades bentónicas, *Anal. Soc. Ci. Arg., Tomo 193*, 237-262.
- Orensanz J. M., Estivariz M. C., 1971. Los anélidos poliquetos de aguas salobres de la provincia de Buenos Aires, *Rev. Mus. La Plata, T. XI, Zoología*, 98, 95-114.
- Pascual R., Ortega H. E., Gondar D., Tonni E., 1965. Las edades del Cenozoico mamalífero de la Argentina, con especial atención a aquellas del territorio bonaerense, *Anal. Com. Invest. Ci., Prov. Buenos Aires*, 6, 165-193.
- Sala J. M., 1975. *Recursos hídricos*, Relatorio del VIº Congr. Geol. Arg., 169-193.
- Schnack E. J., Gardenal L. M., 1979. Holocene transgressive deposits, Mar Chiquita lagoon area, Buenos Aires, Argentina, *Proc. Int. Symp. on Coastal Evolution in the Quaternary, São Paulo, Brasil*, 1978, 419-425.
- Schnack E. J., Fasano J. L., Isla F. I., en prensa a. Los ambientes ingresivos del Holoceno en la región de Mar Chiquita, provincia de Buenos Aires, *Simposio sobre problemas geológicos del litoral atlántico bonaerense, Mar del Plata, 7-11 de Mayo de 1980*.
- Schnack E. J., Fasano J. L., Isla F. I., en prensa b. The evolution of Mar Chiquita lagoon coast, Buenos Aires province, Argentina, *Proc. Int. Symp. on sea level changes in the last 15 000 years, magnitude and causes, Columbia, South Carolina, USA, 6-10 de Abril de 1981*.
- Schwartz M. L., 1971. The multiple causality of barrier islands, *J. Geol.*, 79, 1, 91-94.
- Servicio de Hidrografía Naval, 1978. *Derrotero argentino, Parte 2*, Publ. H-202, Buenos Aires.
- Storni S., 1915. Informe sobre el levantamiento hidrográfico de la laguna Mar Chiquita y alrededores, *Anuario Hidrográfico 1915*, 249-299.
- Thompson W. C., 1937. Original structures of beaches, bars and dunes, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 31, 1-37.
- Tricart J. L. F., 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida, *INTA, T. XII, Colección Científica*, Buenos Aires.
- Zar M. A., 1931. *Informe sobre la laguna Mar Chiquita*, Servicio Aeronáutico Naval.