

RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL DE LA PLANICIE COSTERA DE MAR CHIQUITA (PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA) DURANTE EL HOLOCENO, BASADA EN DIATOMEAS



ROCÍO FAYÓ¹ Y MARCELA A. ESPINOSA¹

¹Laboratorio de Micropaleontología, Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario. Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3350, Mar del Plata, Argentina; Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC). CONICET/UNMDP, Funes 3350. B7602AYL Mar del Plata, 7600, Argentina. rociofayo@gmail.com; maespin@mdp.edu.ar

Resumen. Se analizaron las asociaciones de diatomeas de un testigo extraído en la zona norte de la planicie costera de Mar Chiquita a fin de reconocer variaciones de salinidad y profundidad. Los sedimentos de la base fueron datados en 5802 ± 70 ¹⁴C años AP. Se definieron cuatro unidades litológicas: limos gris-verdosos, limos arenosos castaño-grisáceos, facies heterolíticas y limos arenosos castaños. Se identificaron 200 especies de diatomeas que fueron agrupadas según sus tolerancias salinas y formas de vida. El análisis de agrupamiento definió dos zonas diatomológicas. La sección inferior de la secuencia sedimentaria (desde la base hasta los 90 cm de profundidad, Zona I), estuvo dominada por *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve y *Psammococconeis* cf. *disculoides* (Hustedt) García, acompañadas por plancton, epipsammon y epifitas marino-salobres, indicando condiciones marino-costeras. A partir de los 90 cm de profundidad hacia el tope (Zona II), la salinidad y la profundidad decrecen: *P. sulcata* disminuye, aparecen *Planothidium delicatulum* (Kützing) Roundy Bukht (salobre) e *Hippodonta hungarica* Grunow (salobre-dulceacuícola) y aumentan las diatomeas bentónicas y epifitas. La comparación de las asociaciones fósiles y actuales de la laguna Mar Chiquita, mediante un análisis de ordenamiento multidimensional (MDS), mostró analogía de los fósiles con los actuales de la desembocadura. La sucesión sedimentológica estudiada (Ruta 11) representa la colmatación de un ambiente costero-marino que evolucionó hacia una laguna costera y posteriormente hacia una marisma salobre-dulceacuícola durante la fase regresiva. Los nuevos datos diatomológicos y sedimentológicos sustentan el modelo regional de fluctuaciones holocenas del nivel del mar.

Palabras clave. Diatomeas. Holoceno. Albufera. Provincia de Buenos Aires. Argentina.

Abstract. HOLOCENE PALEOENVIRONMENTAL RECONSTRUCTION OF THE MAR CHIQUITA COASTAL PLAIN (BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA) BASED ON DIATOMS. Diatom assemblages from a core at the north of Mar Chiquita coastal plain were analyzed in order to identify environmental changes due to salinity and depth. The core contains sediments dated at the base in 5802 ± 70 ¹⁴C years BP. Four lithological units were defined: greenish-grey silt, brownish-grey sandy silt, heterolithic facies and brown sandy silt. Two hundred diatom species were identified and grouped based on their salinity tolerances and life form. Cluster analysis defined two diatom zones. The lower section of the sedimentary sequence (from the base to 90 cm depth, Zone I) was dominated by *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve and *Psammococconeis* cf. *disculoides* (Hustedt) García accompanied by marine-brackish plankton, epipsammon and epiphytes indicating coastal marine conditions. From 90 cm towards the top (Zone II), salinity and depth decrease: *P. sulcata* decline and appear *Planothidium delicatulum* (Kützing) Round and Bukht (brackish) and *Hippodonta hungarica* Grunow (brackish freshwater taxa), benthic and epiphytes diatoms increased. Multidimensional Scaling Analysis (MDS) showed that fossil diatom assemblages were similar to the modern assemblages from the inlet of Mar Chiquita coastal lagoon. These new diatom and sedimentological data support the regional model for the Holocene sea-level fluctuation and allow inferring the existence of a marginal coastal system during the regressive phase that evolved into a brackish-freshwater coastal lagoon and marsh.

Key words. Diatoms. Holocene. Coastal lagoon. Buenos Aires Province. Argentina.

LOS depósitos sedimentarios costero-marinos de Argentina registran las variaciones ambientales que se fueron sucediendo a fines del Cuaternario, y por ello su estudio aporta información muy valiosa en interpretaciones paleoambientales eustáticamente dependientes (Espinosa *et al.*, 2012). Inicialmente, las características geológicas de los depósitos permitieron interpretar las fluctuaciones relativas del nivel del mar e inferir las tendencias regresivas o transgresivas que determinaron la

posición de la línea de costa (Schnack *et al.*, 1982). Posteriormente, debido a que las variaciones del nivel del mar condicionaron la estructura y composición de las comunidades biológicas en áreas costeras, la recopilación y el análisis de información micropaleontológica de alta resolución temporal se convirtió en una herramienta muy útil para incrementar el detalle en las reconstrucciones de los ambientes del pasado.

En la costa de la Provincia de Buenos Aires se realizaron

una gran cantidad de reconstrucciones paleoambientales basadas en diferentes indicadores biológicos, sedimentológicos y en las características geomorfológicas locales. Si bien las cuencas de la provincia poseen características intrínsecas particulares, es ampliamente aceptado que la topografía y geomorfología de la zona costera es el resultado de variaciones del nivel del mar ocurridas durante el Pleistoceno tardío y Holoceno (Isla, 1998). El objetivo común de dichos estudios fue la reconstrucción de la magnitud y rango temporal de tales fluctuaciones y su efecto en la posición de línea de costa. Se han postulado distintas curvas del nivel del mar para este lapso (Isla, 1989; Gómez y Perillo, 1991; Aguirre y Whatley, 1995; Isla y Espinosa 1998; Cavallotto *et al.*, 2004; Violante y Parker, 2004). En general, proponen un ascenso rápido del nivel del mar posterior al máximo glacial (*c.* 20000 ^{14}C años AP) que excedió el nivel actual *c.* 7500–7000 años AP. Entre los 6500–5500 ^{14}C años AP el mar habría alcanzado su nivel máximo (máximo transgresivo) y posteriormente habría disminuido de forma progresiva hasta alcanzar el nivel actual (fase regresiva). Las discrepancias entre las curvas consisten en la cota máxima, la magnitud y el momento en que ocurrió el máximo transgresivo, como así mismo en la tasa de disminución del nivel del mar durante la fase regresiva.

La región de Mar Chiquita (Provincia de Buenos Aires) es un área extensa donde se registran los cambios producidos por las fluctuaciones del nivel del mar de los últimos 8000 años AP. La planicie costera (Fig. 1) comprende terrenos que se extienden desde el flanco norte del sistema de Tandilia hasta la laguna costera de Mar Chiquita. La más reciente historia depositacional del área se estableció en la fase regresiva que prosiguió al máximo nivel del mar y continúa en la actualidad.

El modelo propuesto por Isla y Espinosa (1998) infiere un máximo transgresivo *c.* 6500–6000 ^{14}C años AP, donde el nivel máximo del mar habría alcanzado los 3,5–4 m por encima del nivel actual, inundando el paisaje preexistente. El límite de esta ingresión marina estaría representado según Fasano (1991) y Violante y Parker (1992) por un paleoacantilado que constituye un relicto de la transgresión del Pleistoceno tardío. Esta geoforma elongada, llamada también cordón central, se ubica al este de la llanura marginal y es paralela a la línea de costa y al trazado de la Ruta 11. Sin embargo, Prieto *et al.* (1998) y Stutz *et al.* (2002, 2010) sugieren que el mar podría haber sobrepasado este límite e inundado zonas depresas al oeste.

Si bien un escenario transgresivo supone cambios significativos en el ambiente, los rasgos geomorfológicos de la fase transgresiva (superficies erosivas o plataformas de abrasión), son difíciles de reconocer en la región (Stutz *et al.*, 2006). En cambio, la ingresión marina ha sido identificada a través de asociaciones biológicas costero-marinas y la presencia de especies tolerantes a altas salinidades en secuencias sedimentarias alejadas de la línea de costa actual (Isla y Espinosa, 1995; Espinosa e Isla, 2011a). La fase regresiva, por el contrario, fue registrada por rasgos geomorfológicos conspicuos al este del cordón central. Durante la misma, la gran abundancia de sedimentos, la acción de la deriva litoral en sentido norte-sur, el régimen micromareal y la suave pendiente, modelaron los ambientes litorales y estuáricos conformando la planicie costera de Mar Chiquita. Los factores mencionados favorecieron el contexto de depositación de una espiga progradante o barrera litoral en dirección noreste-sudoeste a partir de la paleopunta o saliente Villa Gesell, que restringió progresivamente el ambiente de la acción marina directa y dio lugar a la formación de la laguna costera (Schnack *et al.*, 1982; Violante y Parker, 1992). Además, el crecimiento de la barrera litoral habría septado la bahía alterando los ritmos de sedimentación y propiciando la depositación de cordones conchiles (*cheniers*) y barras compuestas por conchillas. El aislamiento del mar permitió el establecimiento gradual de las condiciones salobres, que favorecieron la colonización de la llanura marginal por vegetación halófila, conformando la zona estuárica y la marisma que se observa en la actualidad. Dataciones de moluscos en posición de vida y estudios geomorfológicos de *cheniers* antiguos sustentaron este modelo evolutivo (Espinosa, 1994). Sin embargo, según Stutz *et al.* (2006), el crecimiento de la barrera habría sucedido de forma discontinua, a través de un sistema de islas de barrera y canales de marea. Esta hipótesis fue postulada sobre la base de la similitud del contenido polínico de dos secuencias sincrónicas ubicadas al norte y al sur de la laguna. La comprensión de la evolución de la barrera es esencial debido a que el cuerpo lagunar posee una conexión importante con la barrera que lo circunda y que le habría dado origen.

La laguna costera de Mar Chiquita ha sido estudiada a través de diversos indicadores biológicos: diatomeas, moluscos, foraminíferos, ostrácodos y polen (Espinosa, 1994; De Francesco e Isla, 2003; Ferrero, 2006; Stutz *et al.*, 2006, 2010; Espinosa e Isla, 2011a; Hassan *et al.*, 2011; Márquez y Ferrero,

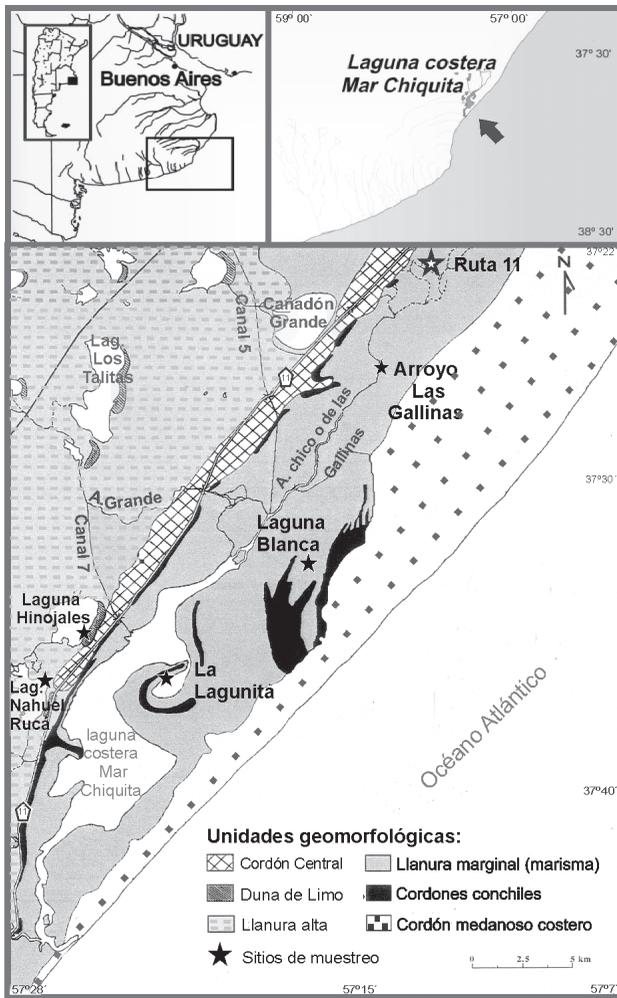


Figura 1. Mapa de ubicación de la planicie costera de Mar Chiquita (modificado de Stutz, 2000). Unidades geomorfológicas según Fasano (1991) y Violante (1992).

2011). En particular, la utilidad de las diatomeas en la reconstrucción de ambientes del pasado es ampliamente reconocida debido a la sensibilidad de este grupo a los cambios de pH, temperatura, nutrientes y a su rápida respuesta a las variaciones en el nivel del agua y la salinidad. Estos cambios ambientales están asociados, en el área de estudio, al establecimiento de una barrera progradante y al desarrollo de la llanura marginal y la laguna costera. Las reconstrucciones paleoambientales basadas en diatomeas necesitan de estudios auto-ecológicos previos que permitan analizar la composición de las asociaciones fósiles y considerar las características ecológicas relevantes de cada especie a la hora de caracterizar el paleoambiente estudiado (De Wolf, 1982; Vos y De Wolf, 1988, 1993, 1994). Las clasificaciones autoecológicas más utilizadas en ambientes costeros están basadas en la salinidad y la forma

de vida, dado que permiten reconstruir cambios de salinidad en estuarios, influencia de las mareas y cambios en la línea de costa y el nivel del mar (Denys y De Wolf, 1999).

Se analizó desde el punto de vista diatomológico un testigo de sedimentos extraído en la zona norte de la planicie costera de Mar Chiquita (sitio Ruta 11). Este estudio tuvo como objetivo realizar una interpretación detallada de la evolución de la planicie costera de Mar Chiquita con relación a las fluctuaciones del nivel del mar y la ubicación de la línea de costa durante el ciclo transgresivo-regresivo del Holoceno. Los resultados obtenidos se correlacionaron con las curvas del nivel medio relativo del mar propuestas para la región y con información diatomológica de cinco sucesiones sedimentarias analizadas previamente: Arroyo Las Gallinas (Espinosa, 1994), La Lagunita (Hassan *et al.*, 2011), Laguna Blanca (Espinosa e Isla, 2011a), Laguna Hinojales (Prieto *et al.*, 1998; Espinosa e Isla, 2011a) y Laguna Nahuel Rucá (Stutz *et al.*, 2010). La integración de los resultados permitió realizar un esquema evolutivo para la región y reconstruir los cambios ambientales asociados a las fluctuaciones del nivel del mar durante el Holoceno.

ÁREA DE ESTUDIO

La planicie costera de Mar Chiquita presenta un relieve llano con suave pendiente hacia el sudeste. El mismo es interrumpido al oeste por dunas de limo de origen eólico y hacia el este por médanos de arena que forman un cordón medanoso costero (Isla y Gaido, 2001).

Las características geológicas de la zona y el establecimiento de las unidades geomorfológicas fueron establecidas sobre la base de las descripciones de Schnack *et al.* (1982), modificadas posteriormente por Fasano (1991), Violante (1992), Violante y Parker (1992) y Violante *et al.* (2001), entre otros.

En las zonas ubicadas hacia el oeste del cordón central (sobre la llanura alta), distintas cuencas de deflación formadas en condiciones más áridas evolucionaron en lagunas modernas someras de agua dulce como las lagunas Nahuel Rucá, Hinojales y Sotelo. Hacia la zona este del cordón central se identifica la llanura marginal donde se desarrollan la laguna costera y la marisma que la rodea, y posteriormente el cordón medanoso costero. Entre estos últimos se pueden identificar *cheniers* adosados al cordón central y en algunas áreas al cordón medanoso costero (Fig. 1).

La laguna costera Mar Chiquita presenta una forma irregular y alargada con el eje mayor en dirección noreste-sudoeste, y su disposición es paralela a la costa. Posee un área total de 45 km², una longitud de 25 km y un ancho variable menor de 5 km. Desde el punto de vista hidrogeológico se diferencian dos ambientes: el cuerpo lagunar interno y el canal de marea con características estuáricas (Martos y Reta, 1997). El cuerpo de la laguna es de agua salobre y somero con una profundidad promedio de 0,6 m (Isla y Gaido, 2001) y se comunica con el mar por el extremo meridional mediante un canal de 6 km de largo, 200 m de ancho y una profundidad que varía entre 0,5 y 3 m.

El régimen de marea es micromareal semidiurno con desigualdades diurnas. Sin embargo, la amplitud de marea se atenúa significativamente desde la boca de la laguna hacia la cabecera del Arroyo de las Gallinas (o Arroyo Chico), donde el aporte de agua dulce y sedimentos terrígenos forman un pequeño delta (Isla, 1997). Actualmente la laguna recibe el aporte de varios arroyos y canales, siendo el Arroyo de las Gallinas el aporte de agua dulce más significativo.

En la actualidad, pueden distinguirse diferentes subambientes en torno a la llanura marginal: extensas llanuras de inundación, marismas, deltas mareales, barras de médanos, depresiones intermedanasas y paleoplayas compuestas por valvas de moluscos. En ellos se han desarrollado comunidades florísticas y faunísticas propias, en respuesta a diversos factores como el tipo de sustrato, la salinidad, la duración y frecuencia de la exposición a las mareas, los efectos de tormentas e inundaciones episódicas y las condiciones topográficas y edáficas del área (Stutz, 2001; Stutz y Prieto, 2003; Espinosa *et al.*, 2006). Los sedimentos holocenos que predominan en los alrededores de la laguna son los asignados a la Formación Mar Chiquita (Schnack *et al.*, 1982) y comprenden facies de playa, de lagunas costeras, de canales de marea y de marismas (Isla y Gaido, 2001).

La sucesión sedimentaria denominada Ruta 11 fue extraída en la planicie costera de Mar Chiquita a 25 km aguas arriba de la desembocadura del Arroyo de las Gallinas y a una distancia aproximada de 8 km perpendicular a la línea de costa (37° 23' 39" S; 57° 9' 33" O).

MATERIALES Y MÉTODOS

El testigo de 135 cm se obtuvo hincando un tubo de aluminio de 7 cm de diámetro con un equipo “*vibracoring*”. En

el laboratorio fue cortado longitudinalmente y descripto desde el punto de vista litológico según la textura y el color de los sedimentos, la distribución de tamaño de grano, el contenido de microfósiles y las estructuras sedimentarias presentes (Fig. 2). Fue submuestreado para el análisis diatomológico y posteriormente fueron seleccionadas 17 submuestras. Se pesaron 5 g de muestra seca, que se trataron con H₂O₂ (30%) y HCl (10%) para eliminar la materia orgánica y los carbonatos respectivamente (Schrader y Gersonde, 1978). Luego fueron lavadas por centrifugación con agua destilada hasta alcanzar pH neutro y diluidas a un volumen total de 50 ml. Se colocaron alícuotas de 20 µl de homogenato sobre los cubreobjetos y se montaron preparados definitivos con Naphrax® para su análisis microscópico. Se contaron al menos 400 valvas por muestra, bajo microscopio óptico con objetivo de inmersión (1000x). La identificación taxonómica de las especies se realizó según la literatura, en particular las floras actuales provistas por Hustedt (1930, 1937–1938, 1955, 1959–1966), Germain (1981), Archibald (1983), Krammer y Large-Bertalot (1986, 1988, 1991), Hartley (1996), Rumrirc *et al.* (2000), Lange-Bertalot (2001), Sar *et al.* (2003), entre otros. Las caracterizaciones de las especies de acuerdo con sus tolerancias salinas y formas de vida fueron tomadas de los códigos de De Wolf (1982), Denys (1991–1992), Vos y De Wolf (1988, 1993, 1994). Además, se utilizaron datos de tolerancia a la salinidad de especies actuales de ambientes estuáricos de la provincia de Buenos Aires (Hassan *et al.*, 2006; Hassan, 2010) y de la región Patagónica (Espinosa e Isla, 2014). La sinonimia de diatomeas fue actualizada mediante *Algaebase* (Guiry y Guiry, 2012).

Se realizaron tres dataciones radiocarbónicas AMS (Arizona AMS Laboratory) Lab. N° AA95186, AA103363 y AA95188 a partir de materia orgánica en los sedimentos, en la base del testigo (133–135 cm), a los 89–91 cm y en el tope (1–2 cm) respectivamente. La totalidad de las edades radiocarbónicas fueron calibradas con Calib 7.0.2 (Stuiver *et al.*, 2014), utilizando la curva de calibración del Hemisferio Sur SHCal13 (Hogg *et al.*, 2013).

Análisis de datos

Para cada muestra se calcularon las frecuencias relativas de las especies y las de los grupos ecológicos (salinidad y hábitat). Los resultados obtenidos se graficaron en diagramas de frecuencias relativas utilizando el programa TILIA (Grimm,

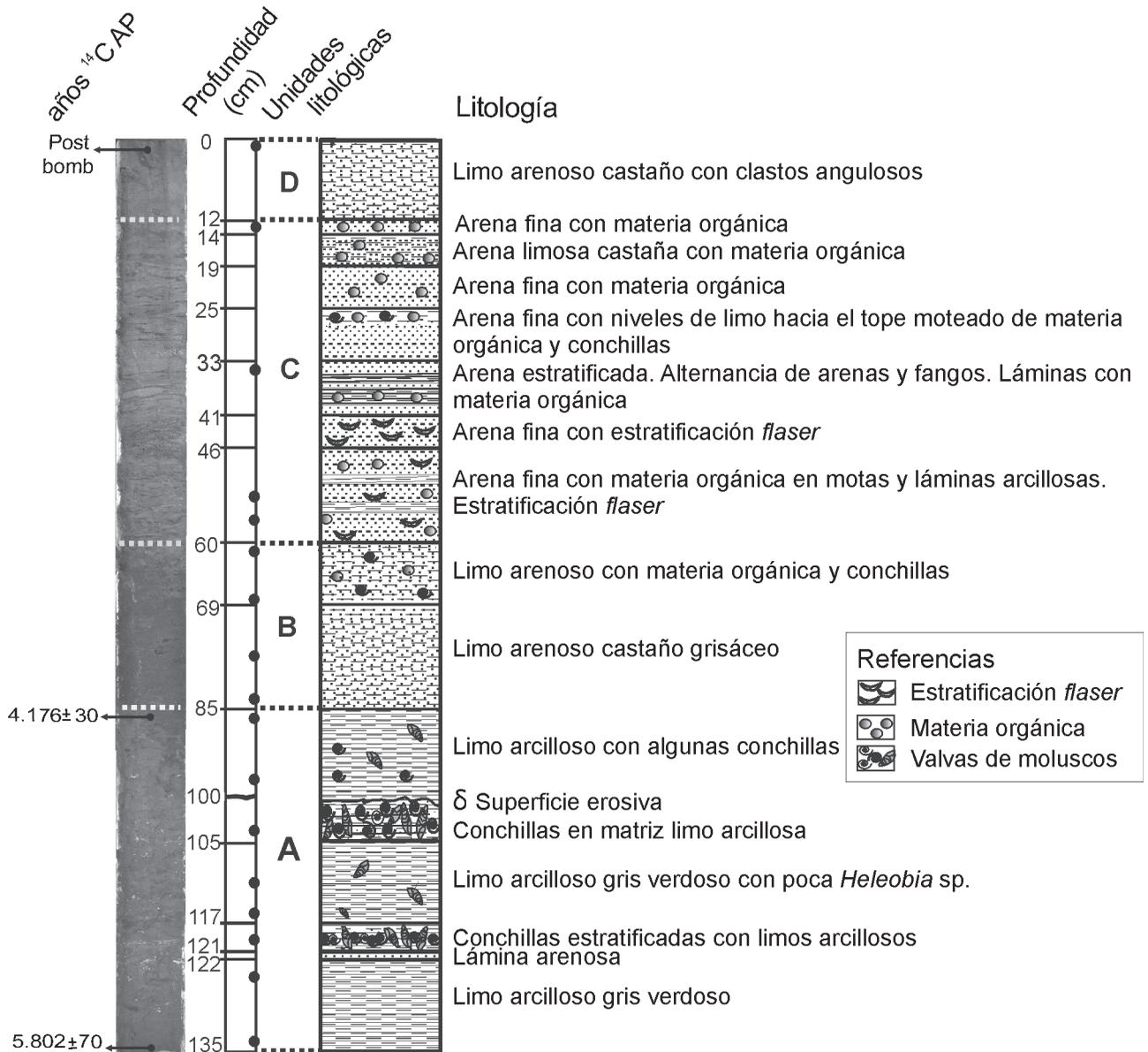


Figura 2. Descripción litológica del testigo Ruta 11. Ubicación de las muestras (círculos negros).

2004). Se incluyeron los taxones con porcentajes $\geq 4\%$ en al menos una de las muestras. Con el objetivo de definir zonas diatomológicas, se realizó un análisis multivariado de agrupamiento respetando el orden estratigráfico de las muestras por medio del programa TGVIEW versión 2.0.2 (Grimm, 2004). Se utilizó el coeficiente de similitud distancia euclidiana (datos sin transformar) y el dendrograma fue realizado con el método de ligamiento promedio (UPGMA).

A fin de comparar las muestras fósiles con el modelo actual basado en diatomeas modernas de Mar Chiquita (Hassan *et*

al., 2006), se realizó un análisis de MDS (*multidimensional scaling*) utilizando el programa PAST (Hammer *et al.*, 2001). El análisis de MDS es una técnica de ordenación robusta en el análisis de comunidades (Espinosa e Isla, 2011b) que permite la creación de matrices de similitud, utilizando la distancia euclidiana como coeficiente, y permite graficar las similitudes entre puntos reduciendo el número de dimensiones. El ajuste entre el gráfico de dimensiones reducidas y el espacio multidimensional original se denomina estrés y varía entre 0 y 1. Los valores próximos a cero son indicativos de ajuste óptimo,

mientras que los valores cercanos a 1 son indicativos de un ajuste deficiente (Johnson, 1998).

Los datos de diatomeas actuales corresponden a 15 sitios de la laguna de Mar Chiquita representativos del gradiente estuárico desde la desembocadura hasta la zona interna (Hassan *et al.*, 2009).

RESULTADOS

Descripción litológica y cronología

Unidad A (135–85 cm). Esta unidad está constituida principalmente por limos arcillosos gris-verdosos. Posee una arena laminada a 121 cm de profundidad, un nivel estratificado de

Heleobia spp. (5 cm de espesor) en una matriz arcillosa a 105 cm de profundidad y una superficie erosiva a 100 cm. La Tabla 1 muestra las dataciones realizadas en materia orgánica de sedimentos a una profundidad de 135–133 cm que dio una edad de 5802 ± 70 ^{14}C años AP (6728–6406 cal. años AP) y de 4176 ± 30 ^{14}C años AP (4822–4567 cal. años AP) a los 91–89 cm.

Unidad B (85–60 cm). Limos arenosos castaño grisáceos con presencia de materia orgánica y escasas conchillas hacia el tope de la unidad.

Unidad C (60–12 cm). Facies heterolíticas de arena fina con láminas de arcilla y limo, abundante materia orgánica. Esca-

TABLA 1 – Dataciones radiocarbónicas de las secuencias estudiadas en la planicie costera de Mar Chiquita calibradas con Calib 7.0.2 usando la curva de calibración del Hemisferio Sur SHCal13.

Sitios	Profundidad (cm)	Edad (^{14}C años AP)	Edad calibrada (cal. años AP $\pm 2\delta$)	Materia datada	Laboratorio	Fuente
La Lagunita	25–30	2570 ± 70	2377–2754	Tagelus plebeius (Lightfoot) Macra isabelleana (D'Orbigny)	LATYR (LP 583)	Stutz (2000)
	50–55	5130 ± 50	5710–5934	Mezcla de conchas de moluscos	LATYR (LP 681)	Stutz (2000)
	90–91	7510 ± 150	7980–8546	Materia orgánica en sedimento	NSF-Arizona AMS Laboratory (AA87714)	Hassan <i>et al.</i> (2011)
Laguna Blanca	169–170	8670 ± 240	9084–10239	Materia orgánica en sedimento	NSF-Arizona AMS Laboratory (AA87712)	Hassan <i>et al.</i> (2011)
	143–145	5444 ± 45	6170–6295	Materia orgánica en sedimento	NSF-Arizona AMS Laboratory (AA95187)	Espinosa e Isla (2011a)
Arroyo las Gallinas	239–241	6020 ± 47	6711–6939	Materia orgánica en sedimento	NSF-Arizona AMS Laboratory (AA90824)	Espinosa e Isla (2011a)
	35–40	3110 ± 80	3055–3451	Tagelus plebeius	AC- 0064 INGEIS	Espinosa (1994)
Ruta 11	1–2	Post bomb	1947 a los últimos 4 años	Materia orgánica en sedimento	NSF-Arizona AMS Laboratory (AA95188)	Este trabajo
	89–91	4176 ± 30	4567–4822	Materia orgánica en sedimento	NSF-Arizona AMS Laboratory (AA103363)	Este trabajo
	133–135	5802 ± 70	6406–6728	Materia orgánica en sedimento	NSF-Arizona AMS Laboratory (AA95186)	Este trabajo
Laguna Hinojales	58–62	440 ± 50	423–521	Frutos de Schoenoplectus californicus (C.A. Meyer Soja 'k 1972)	Beta Analytic Inc. Miami, USA (B- 114747)	Stutz <i>et al.</i> (2002)
	102–107	4240 ± 60	4567–4858	Heleobia australis (D'Orbigny 1835) Heleobia parchappii (D'Orbigny 1835)	Beta Analytic Inc. Miami, USA (B- 118012)	Stutz <i>et al.</i> (2002)
Laguna Nahuel Rucá	51–53	332 ± 34	295–454	Frutos	NSF-Arizona AMS Laboratory (AA66206)	Stutz <i>et al.</i> (2010)
	71–72	871 ± 35	678–792	Frutos	NSF-Arizona AMS Laboratory (AA66205)	Stutz <i>et al.</i> (2010)
	83	3480 ± 40	3589–3830	Conchillas	Beta Analytic Inc. Miami, USA (B- 193897)	Stutz <i>et al.</i> (2010)

sas conchillas en el nivel de limo a los 25 cm de profundidad y laminación *flaser* a los 60–41 cm.

Unidad D (12–0 cm). Limos arenosos castaños con clastos angulosos. Se dató la materia orgánica en sedimentos del tope (2–1 cm de profundidad) y arrojó una edad *post bomb* (1947 a los últimos cuatro años).

Análisis de diatomeas

El análisis diatomológico de 17 muestras del testigo Ruta 11 permitió identificar 200 especies, de las cuales 28 alcanzaron una frecuencia relativa $\geq 4\%$ en al menos una de las muestras. La mayoría de los frústulos presentaron buen estado de preservación.

El análisis de agrupamiento mostró diferencias en las asociaciones fósiles y permitió identificar dos zonas de diatomeas por encima y por debajo de los 90 cm de profundidad (índice de similitud 2; Fig. 3).

Zona I (135–90 cm). Esta zona basal estuvo dominada por dos especies: *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (entre 10 y 60%) y *Psammococconeis cf. disculoides* (Hustedt) García (entre 10 y 35%) acompañadas por *Cocconeis fasciolata* (Ehrenberg)

Brown, *Opephora pacifica* (Gregory) Petit, *Dimeregramma minor* (Gregory) Ralf y *Triceratium favius* Ehrenberg. Se observó la presencia de los taxones marinos *Actinocyclus splendens* (Shadbolt) Ralfs, *Grammatophora oceanica* Ehrenberg, y los taxones salobres y dulceacuícolas *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, *Tabularia fasciculata* (Agardh) Williams y Round, *Planothidium delicatulum* (Agardh) Williams y Round, *Cocconeis placentula* Ehrenberg y *Staurorsira venter* (Ehrenberg) Kobayasi.

La clasificación autoecológica de las asociaciones de la zona I (Fig. 4) mostró un marcado dominio de ticoplancton marino-salobre (con una abundancia máxima de 70%). El epipsammon marino-salobre presentó un pico de abundancia de 27% en la zona media de la unidad. Los taxones epífitos presentaron bajos porcentajes (<10%) con un espectro de salinidad más amplio, ya que pudieron identificarse especies marinas, marino-salobres, y salobre-dulceacuícolas. En particular, se registró la ocurrencia de plancton marino (<10%) y marino-salobre (15%) sólo en la zona I. Las formas de vida aerófilas estuvieron pobremente representadas en la totalidad del testigo.

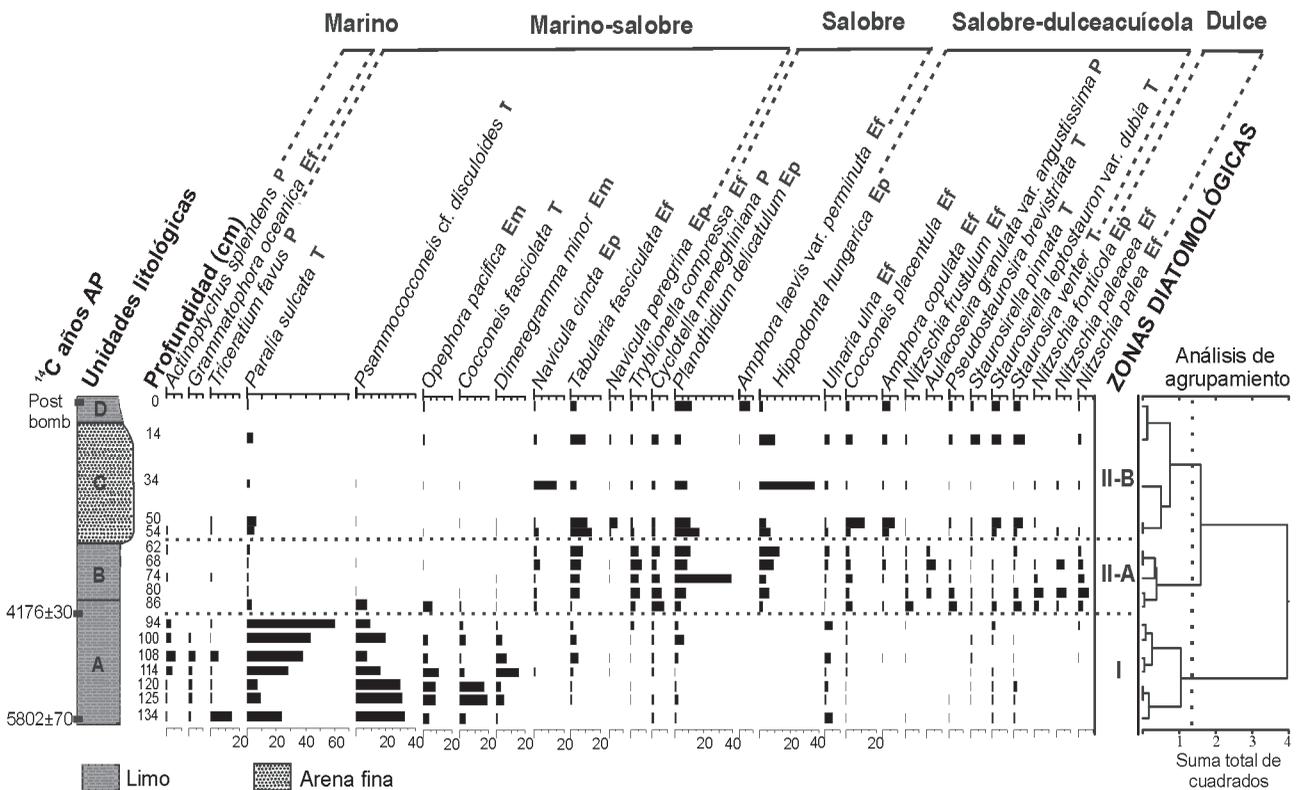


Figura 3. Diagrama de frecuencias relativas de especies de diatomeas y análisis de agrupamiento de las muestras analizadas en la secuencia Ruta 11. T, ticoplancton; P, plancton; Ef, epífitas; Ep, epipelon; Em, epipsammon.

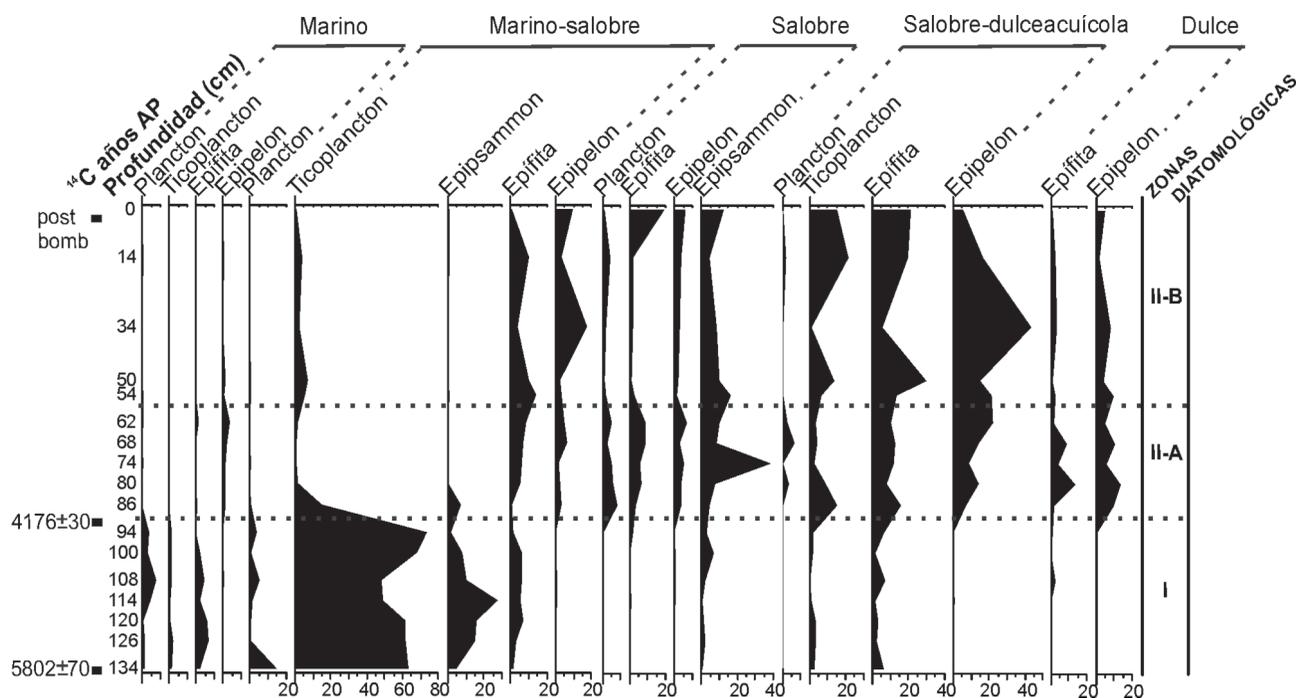


Figura 4. Diagrama de frecuencias relativas de grupos ecológicos de diatomeas.

Zona II (90–0cm). Se observó una reducción abrupta en la abundancia de *Paralia sulcata* (<10%) y en general una disminución de las especies marino-salobres. Las formas bentónicas y epífitas presentaron mayor diversidad y abundancia y estuvieron mejor representadas las comunidades de ambientes de menor salinidad. Según el análisis de agrupamiento, la zona II podría subdividirse en dos grupos (índice de similitud próximo a 1,5):

1) Subzona II-A (90–60 cm). En esta subzona se vio reflejada una disminución abrupta en la abundancia de *Paralia sulcata* y se determinaron especies que no se registraron en la zona I. *Hippodonta hungarica* (Grunow) Lange-Bertalot, Metz y Witkowski (epipelítica salobre-dulceacuícola) y algunos taxones dulceacuícolas epífitos y epipsammíticos. A la vez, se observó un aumento en la abundancia de especies salobres como *Planothidium delicatulum* con un máximo de 40% en la zona media del testigo. La especie acompañante más abundante fue *Tabularia fasciculata* (10%). Sólo la subunidad II-A registra la especie *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (Müller) Simonsen. La mayoría de grupos ecológicos con tolerancia a bajas salinidades (salobres, salobre-dulceacuícolas y dulceacuícolas) se encontraron desde la subzona II-A hacia el tope.

2) Subzona II-B (60–0 cm). En la subzona II-B se observaron diferencias en las abundancias de especies ya registradas

en niveles subyacentes, con excepción de *Amphora laevis* var. *perminuta* Gregory (epífita salobre) que sólo se presentó en la muestra más superficial del testigo (0–2 cm). Las especies dominantes son: *Hippodonta hungarica*, con un máximo de 36 % y *Navicula cincta* (Ehrenberg) Kützing (15%). Las especies acompañantes estuvieron representadas por *Tabularia fasciculata*, *Cocconeis placentula* y *Planothidium delicatulum* con una abundancia entre 5–15% y *Amphora copulata* (Kützing) Schoeman y Archibald, *Stausosirella pinnata* (Ehrenberg) Williams y Round, *Stausosirella leptostauron* var. *dubia* (Grunow) Edlund, *Pseudostausosira brevistriata* (Grunow) Williams y Round y *Stausosira venter* presentaron una frecuencia relativa $\leq 10\%$. En la subzona II-B se observó un incremento de taxones ticoplanctónicos salobre-dulceacuícolas y epífitos marino-salobres, mientras que se determinó escasa cantidad de especies dulceacuícolas.

Comparación de asociaciones de diatomeas fósiles y actuales

La comparación entre las asociaciones fósiles (17 muestras) y actuales (15 muestras) a través del análisis MDS mostró un valor de estrés de 0,1707 indicando un buen ajuste (Fig. 5). La ordenación de las muestras sugirió que el eje 1 representa el factor salinidad, ubicando en el cuadrante negativo las asociaciones actuales características de ambientes con poca in-

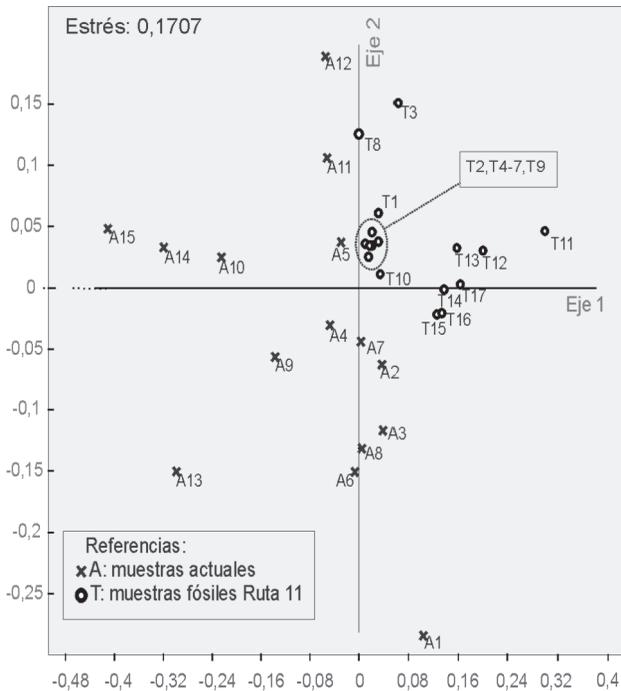


Figura 5. Análisis MDS: comparación entre asociaciones actuales y fósiles.

fluencia marina, mientras que el cuadrante positivo agrupó la totalidad de las muestras fósiles del testigo y las muestras actuales próximas a la desembocadura (Figs. 5 y 6.1). De tal forma, los resultados reflejan que las asociaciones fósiles poseen análogos actuales, en los sitios en que la influencia marina es importante (10–25‰; Fig. 6.2), al igual que la velocidad de las corrientes y la profundidad.

Además, se observaron dos grupos principales de muestras, ambos afectados por la influencia marina en diferente grado: las muestras T11 a T17 se ubicaron próximas entre sí y hacia la derecha del eje 1 positivo (mayor influencia marina), mientras que las muestras T1 a T10 (de menor influencia marina) se ubicaron próximas entre sí y al valor cero sobre el eje 1 (Fig. 5). Esta observación reforzó la división en dos zonas de diatomeas obtenida mediante el análisis de agrupamiento (Fig. 3).

DISCUSIÓN

Análisis paleoecológico

El análisis paleoecológico de la sucesión sedimentaria estudiada permitió inferir tres momentos principales en la evolución de la zona norte de la planicie costera de Mar Chiquita durante la fase regresiva del Holoceno. Teniendo en cuenta las unidades litológicas, desde la base del testigo hacia el tope ha-

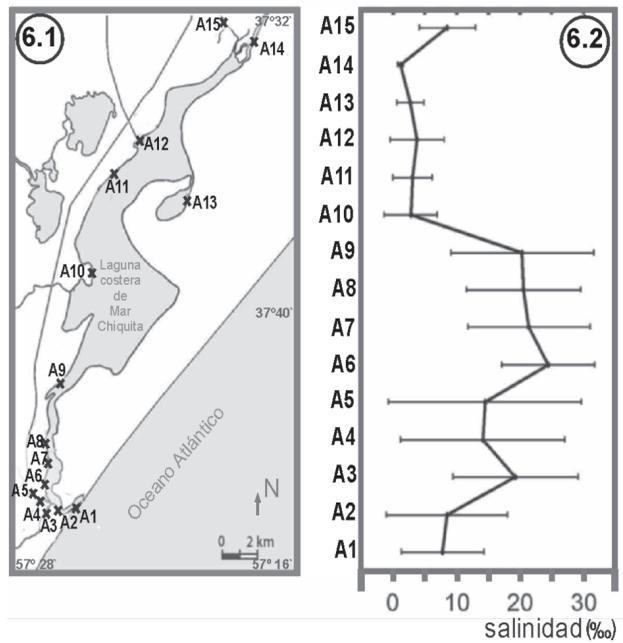


Figura 6. 6.1, Ubicación de las muestras actuales en la Laguna Mar Chiquita; 6.2, Valores de salinidad en cada sitio de muestreo (modificado de Hassan et al. (2009).

bría una disminución gradual de la energía del ambiente. Los cambios en cada una de las unidades litológicas son coincidentes con las zonas diatomológicas establecidas por el análisis micropaleontológico.

En una primera etapa entre $c. 5802 \pm 70$ ^{14}C años AP (6440–6751 cal. años AP) y 4176 ± 30 ^{14}C años AP (4567–4822 cal. años AP) correspondientes a la zona I y la unidad litológica A, dominaron diatomeas tico-planctónicas marino-costeras, en particular *Paralia sulcata* y *Psammodocconeis cf. discoloides*. También fueron abundantes las especies planctónicas marinas y epipsammíticas marino-salobres asociadas con los niveles de sedimentos arenosos encontrados en esta sección. De acuerdo con Denys (1991–1992), las diatomeas tico-planctónicas son aquellas que realizan los procesos reproductivos y metabólicos en el plancton, si bien son originarias de otros hábitats como el bentónico y epífito, por lo cual están parcialmente asociadas a un sustrato. El conocimiento paleoecológico de la especie *Paralia sulcata* es sumamente importante ya que ha sido hallada frecuentemente en sedimentos cuaternarios (McQuoid y Nordberg, 2003). Se trata de una especie céntrica robusta con alto contenido de sílice y una morfología que le confiere resistencia físico química en condiciones hidrodinámicas de alta energía, y por ende un alto potencial de preservación valvar (Denys, 1989, 1994; Vos y

de Wolf, 1994; McQuoid y Hobson, 1998). Esta especie se caracteriza por encontrarse presente en ambientes con diferentes salinidades (marinos-salobres). Según Zong (1997a) el límite mínimo de salinidad para su crecimiento óptimo es 10‰. Sin embargo, es muy abundante en registros de ambientes costeros y es considerada indicadora de este tipo de ambientes (Gil *et al.*, 2006). La ocurrencia y elevada abundancia de *Paralia sulcata* respecto a otras especies se observa en ambientes costeros, estuáricos, canales de marea y en el mar (Simonsen, 1969; Vos y De Wolf, 1993; Ryu *et al.*, 2005).

En sedimentos actuales de la laguna costera de Mar Chiquita, *Paralia sulcata* fue hallada a un óptimo de salinidad de 20‰ y con un rango de tolerancia de 10–27‰ obtenidos a partir de la función de transferencia realizada por Hassan *et al.* (2009), correspondiendo a la categoría marino-salobre eurihalina de Denys (1991–1992). Forma parte de una asociación marino-salobre dominada por *Opephora pacifica* (60%), *Stausosira venter* y *Catenula adhaerens* (Mereschkowsky) Mereschkowsky (30%) y muestra una abundancia máxima de 15%. Su ocurrencia se registra en el canal de mareas y en la desembocadura de la laguna. Allí la fluctuación de salinidad es de 1–35‰, y la influencia de mareas y la velocidad de la corriente son máximas (Hassan *et al.*, 2009). En torno a la laguna, en la zona de la marisma, su distribución está acotada a la zona de *cheniers* y diques donde se observa como especie dominante, mientras que los subambientes de marisma alta y baja están dominados por diatomeas aerófilas como *Diploneis interrupta* (Kützing) Cleve y una asociación típica de marismas: *Stausosira venter*, *Stausosirella pinnata* y *Rhopalodia gibberula* (Ehrenberg) Müller (Espinosa *et al.*, 2006).

Además de la alta abundancia de *Paralia sulcata*, la inferencia relacionada a la fuerte influencia marina en la zona I del testigo estudiado es sustentada por la autoecología de las especies acompañantes. Por ejemplo, *Opephora pacifica*, *D. minor* y *T. favus* se presentaron en proporciones cercanas al 15%, y *Grammatophora oceanica* al 10%. Estas especies poseen representantes actuales en la zona de Mar Chiquita con rangos de tolerancia a la salinidad respectivos de 7–19‰, 15–25‰ (ambas marino-salobres), y 25–35‰ y 34–35‰ ambas marinas (Hassan *et al.*, 2009). La asociación constituida por *P. sulcata*, *O. pacifica*, *T. favus*, *D. minor* fue encontrada en muestras modernas y fósiles del Holoceno tardío en distintos estuarios de la costa atlántica de Argentina, entre ellos el estuario del Río Quequén Grande (Espinosa *et al.*, 2012),

Bahía San Blas (Espinosa e Isla, 2011b), el estuario de Río Negro (Escandell *et al.*, 2009) y el estuario de Río Chubut (Escandell y Espinosa, 2012). Además, ha dominado los canales de marea holocenos de Mar Chiquita durante la evolución y el establecimiento de la laguna costera (Hassan *et al.*, 2011) y ha sido identificada en etapas transgresivas que influyeron en la evolución de lagunas costeras de otras regiones de la zona litoral atlántica como Uruguay (García-Rodríguez *et al.*, 2004a, b) y Brasil (Medeanic *et al.*, 2009). Otra observación que sustenta la alta influencia marina en la zona I fue la elevada proporción de *Psammococconeis* cf. *disculoides* (32,5%). Se trata de una diatomea ticooplanctónica que también puede vivir como epífita y epipelítica en áreas costeras de Argentina (Sar *et al.*, 2003). Se caracteriza por una marcada variabilidad morfológica en tamaño y densidad de estrías, lo cual ha generado numerosas revisiones taxonómicas que pueden llevar a confusión en la identificación de la especie. *Psammococconeis disculoides* no ha sido identificada en la región de Mar Chiquita en muestras modernas o fósiles como tal entidad taxonómica, por tal razón se hizo hincapié en el análisis de la sinonimia de la especie y en su identificación taxonómica al momento de obtener sus datos ecológicos. *P. disculoides* fue citada en distintas costas del mundo como *Cocconeis disculoides* (Hendey, 1964; Navarro, 1982; Cooper, 1995; Moreno *et al.*, 1996; Sar, 1996). Sin embargo, *Cocconeis disculoides* se transfirió mediante descripciones con microscopía electrónica a *P. disculoides* (García, 2001) y a *Amphicocconeis disculoides* (Hustedt) acorde a De Stefano y Marino (2003), entidades taxonómicas aceptadas en la actualidad. Los frústulos de ambas especies, bajo el análisis de microscopía óptica, poseen características morfológicas similares, densidad de estrías y rangos de medidas que coinciden en los valores promedios, pudiendo generar confusión en la caracterización taxonómica y por ende realizar una interpretación paleoambiental errónea, dado que *P. disculoides* fue catalogada como una especie marino-salobre costera, mientras que *Amphicocconeis disculoides* como dulceacuicola (Vos y De Wolf, 1993; Sar *et al.*, 2003). Los especímenes encontrados en el testigo Ruta 11 se ajustaron a la descripción taxonómica realizada por Sar *et al.* (2003), quien propuso una modificación en el rango de número de estrías sobre la de García (2001), por tal motivo se denominó la especie *Psammococconeis* cf. *disculoides*. El taxón *P. disculoides* fue registrado en una asociación diatomológica marino-salobre de diatomeas holocenas de

Brasil (Lagoa Dos Patos – Lagoa do Peixes) en un intervalo de 7400–5300 ^{14}C años AP para el cual se infirió un sistema lagunar costero con una importante influencia marina (Dos Santos, 2011). En dicho estudio de la costa brasileña, las asociaciones de diatomeas y la cronología fueron semejantes a la zona diatomológica I, con el dominio de *P. sulcata* y la presencia de *Dimeregramma minor*, *Actinoptychus splendens* (Shadbolt) Ralfs, *Podosira stelligera* (Bailey) Mann, *Triceratium favus* y *Auliscus sculptus* (Smith) Ralfs, entre otras.

Debido al dominio de ticoplancton costero-marino y la ocurrencia de plancton marino en el intervalo 5802±70 ^{14}C años AP (6406–6728 cal. años AP)–4176±30 ^{14}C años AP (4567–4822 cal. años AP), pudo identificarse un ambiente costero-marino de alta energía. Los niveles de *Heleobia australis* (D'Orbigny) y una superficie erosiva en la unidad litológica A (100 cm de profundidad), también apoyan la interpretación de un ambiente litoral con esas características. La importante influencia marina sería coincidente con los modelos evolutivos de la zona que proponen un nivel máximo del mar a los *c.* 6000–5500 ^{14}C años AP (Fasano, 1991) o 6500–6000 ^{14}C años AP (Isla y Espinosa, 1998).

A los 4176±30 ^{14}C años AP (4567–4822 cal. años AP), donde comienza la zona II, se identificó un cambio ambiental abrupto y la influencia marina disminuyó significativamente. Se observó la ocurrencia simultánea de taxones con diferente tolerancia a la salinidad lo que implica condiciones mixohalinas típicas de un ambiente estuárico. También se registró una alta abundancia y diversidad de formas de vida bentónicas y epífitas, lo que podría inferirse como la somerización del cuerpo de agua respecto a la zona I.

A lo largo de la zona II, se identificaron dos máximos de abundancia correspondiente a las especies *Planothidium delicatulum* (epipsammítica) e *Hippodonta hungarica* (epipelítica). Respecto al rango de salinidad ambas especies fueron catalogadas históricamente por floras europeas como marino-salobres (Vos y De Wolf, 1993). Sin embargo, según los datos de diatomeas actuales de distintos estuarios de Argentina, *Planothidium delicatulum* fue hallada a una salinidad óptima de 6,5‰ con tolerancias entre 0–14‰ siendo clasificada como salobre, mientras que *Hippodonta hungarica* con un óptimo en 5‰ y rango de tolerancia de 0–12‰ fue clasificada como salobre-dulceacuícola (Hassan *et al.*, 2009).

En el lapso correspondiente a la zona II habrían existido 2 momentos en la evolución de la planicie costera. Inmediata-

mente posterior a los 4176±30 ^{14}C años AP (4567–4822 cal. años AP), subzona II-A y unidad litológica B, se observó la disminución abrupta de *P. sulcata* y la comunidad marina acompañante. Simultáneamente, se registraron la ocurrencia y el aumento de especies epífitas y epipsammíticas salobres y dulceacuícolas, la gran abundancia de *P. delicatulum* y el incremento de taxones planctónicos salobres y salobres dulceacuícolas. La disminución de *Paralia sulcata* se asocia a una disminución en la salinidad del cuerpo de agua y al incremento en el flujo de agua dulce (Cooper, 1995; Weiss *et al.*, 1978). En reconstrucciones paleoambientales costeras, su registro ha permitido inferir el aislamiento de bahías (Abrantes, 1991; Zong, 1997b; Bao *et al.*, 1999). Por lo tanto, podría inferirse a los 4176±30 ^{14}C años AP una restricción de la influencia marina en el ambiente y el establecimiento de condiciones estuáricas. En los sistemas marginales costeros las especies planctónicas al igual que las especies ticoplanctónicas son consideradas especies alóctonas transportadas hacia los sitios de depositación (McQuoid y Nordberg, 2003). Las especies planctónicas no fueron abundantes a lo largo del testigo, sin embargo el aumento en la proporción de *Cyclotella meneghiniana* Kützing (planctónica salobre) y *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (planctónica salobre-dulceacuícola) en la zona II-A permitiría proponer un incremento en el flujo de agua dulce hacia el sistema costero. Un mayor aporte de agua dulce y la restricción del ambiente de la acción marina directa habrían generado una disminución en la salinidad del cuerpo de agua y un ambiente poco propicio para el óptimo desarrollo de *P. sulcata*.

Además, asociaciones similares dominadas por la especie *Planothidium delicatulum* y la flora acompañante han sido halladas con anterioridad en secuencias holocenas en el estuario de Río Quequén Grande en la provincia de Buenos Aires (Espinosa *et al.*, 2012) y en el sitio Laguna Blanca de la planicie costera de Mar Chiquita, a aproximadamente 25 km al sur del sitio Ruta 11, donde se infirió el establecimiento de una laguna costera a los *c.* 6000–5500 años con gran influencia marina indicada por un nivel de *Actinoptychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg y posteriormente su evolución hacia una marisma *c.* 5444±45 ^{14}C años AP (Espinosa e Isla, 2011a). De modo que, a través de la paleoecología de las asociaciones presentes en la subzona II-A y los antecedentes diatomológicos de la región, podría inferirse el establecimiento de un sistema costero marginal tipo laguna costera, restringido de la

acción directa del mar.

La tercera y última etapa en la evolución de la planicie costera estaría representada desde los 60 cm al tope del testigo (zona diatomológica II-B). Se observó una máxima abundancia de especies asociadas a sedimentos de grano fino como *Hippodonta hungarica* (epipelítica) y elevada abundancia y diversidad de epífitas salobre-dulceacuícolas. Hacia el tope del testigo la disminución de las comunidades planctónicas salobres y salobre-dulceacuícolas, y el establecimiento de asociaciones típicas de marisma salobre-dulceacuícola tales como *Staurosirella pinnata*, *Staurosira venter* y *Pseudostaurosira brevistriata*, muy frecuentes en sedimentos holocenos de la región, caracterizan este ambiente.

Staurosirella pinnata fue ampliamente registrada en Mar Chiquita, tanto en muestras actuales como en muestras fósiles holocenas. Se trata de una especie salobre-dulceacuícola muy ubicua en lagunas costeras micromareales (Vos y de Wolf, 1988). Fue hallada en sedimentos actuales de Mar Chiquita a una salinidad óptima de 5‰ y un rango de tolerancia de 0–15‰. *Staurosira venter* (salobre-dulceacuícola) presentó un óptimo de salinidad de 10‰ y un rango de tolerancia de 0–17‰ (Hassan *et al.*, 2009). Estos taxones son muy tolerantes a los cambios de salinidad. Fueron encontrados en los sedimentos modernos de la laguna costera de Mar Chiquita en la zona de la marisma alta (Espinosa *et al.*, 2006) y mostraron dominancia en el cuerpo lagunar y hacia la cabecera de la laguna (Hassan *et al.*, 2006).

Staurosirella pinnata y *S. construens* var. *venter* fueron halladas en sedimentos holocenos de la laguna costera Mar Chiquita, en el sitio La Lagunita *c.* 2570±70 ¹⁴C años AP (Hassan *et al.*, 2011) y a los *c.* 3110±80 ¹⁴C años AP en el sitio Arroyo Las Gallinas (Espinosa, 1994) donde las asociaciones fueron interpretadas como una marisma salobre donde las fluctuaciones de salinidad fueron bajas (0–9‰). También fueron citadas en la sucesión sedimentaria de Arroyo Las Brusquitas a los *c.* 2040 ¹⁴C años AP (Vilanova *et al.*, 2006) y son muy comunes en depósitos cuaternarios de ambientes lacustres de Patagonia y Tierra del Fuego (Espinosa, 2008). *Staurosira venter* fue registrada en lapsos más amplios: en La Ballenera entre 6790 y 6120 años ¹⁴C AP (Espinosa *et al.*, 2003) y en Claromecó entre 6540–6000 ¹⁴C años AP (Prieto *et al.*, 2014).

La zona II-B presentó dos unidades litológicas discretas (C+D). La unidad C (60–12 cm) estuvo definida por facies heterolíticas de arena fina con láminas de limo y arcilla, con es-

trificación *flaser* en su sección basal (indicadora de un ambiente sujeto a efectos de la marea), y abundante materia orgánica en la sección media y superficial. La otra unidad litológica dentro de la subzona II-B incluye los últimos 12 cm desde el tope y se define por sedimentos limo-arenosos con clastos angulosos. La correlación de las asociaciones diatomológicas fósiles encontradas y la litología de la zona II-B, permite inferir el establecimiento de una planicie de mareas y la posterior evolución hacia una marisma salobre-dulceacuícola hasta la actualidad.

De acuerdo a los resultados del análisis MDS, las asociaciones de ambas zonas (I y II), presentaron análogos actuales en la zona de la desembocadura de la laguna, donde se ubican las especies tolerantes a una importante influencia marina. Dicha observación es coincidente con la inferencia realizada para las zonas I y II a partir del análisis de agrupamiento. Debe considerarse que la distribución espacial de diatomeas actuales en la laguna Mar Chiquita está relacionada con su capacidad de tolerar fluctuaciones de salinidad y han sido identificadas por Hassan *et al.* (2006) como especies salobres marcadamente eurihalinas en el sentido de Denys (1991–1992), presentando rangos de tolerancia entre 2,3 y 11,6‰, por lo cual, si bien existe una zonación según la salinidad desde la boca de la laguna hacia la cabecera de la misma, las especies son capaces de tolerar niveles de salinidad fluctuantes. Los taxones eurihalinos salobres predominan también en lagunas costeras de Brasil (Sylvestre *et al.*, 2001). Este patrón es característico de entornos con regímenes fluctuantes de salinidad, donde los taxones se asocian más en función de su capacidad para adaptarse a las salinidades variables que a su óptimo de salinidad (Snoeijs, 1999). Este registro deja en evidencia la importancia y necesidad de incrementar el número de estudios que incorporen datos autoecológicos regionales actuales y de distribución espacial, que contemplen características locales como la eurihalinidad de las especies, para proporcionar una base de datos más ajustada en las interpretaciones paleoambientales de estuarios y lagunas costeras.

Correlación con otras sucesiones sedimentarias estudiadas en la región de Mar Chiquita

En general, la reconstrucción paleoambiental respecto a la línea de costa está restringida a la distribución espacial de los testigos sedimentarios analizados y a las dataciones radiocarbónicas involucradas. Dicha reconstrucción será más ajustada

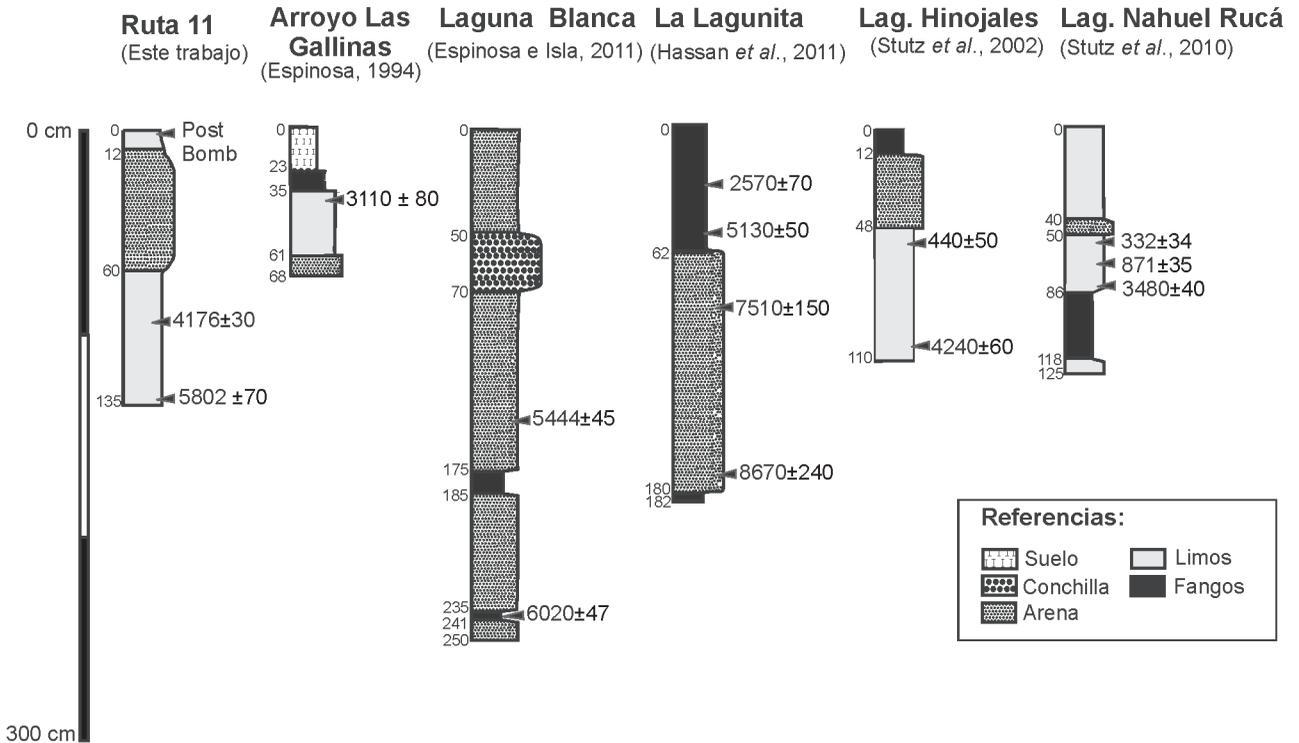


Figura 7. Correlación entre las sucesiones sedimentológicas estudiadas en la región de Mar Chiquita (modificado de Bedmar *et al.*, 2014).

cuando se utilicen el mayor número de dataciones e indicadores ambientales independientes pero complementarios, y cuando se cubra una distribución amplia del sector que se pretende reconstruir (Bao *et al.*, 1999). Los resultados del testigo analizado en el presente estudio permiten inferir la evolución de la zona norte de la planicie costera de Mar Chiquita durante la fase regresiva, contribuyendo a la comprensión de la evolución paleoambiental de la región.

El testigo describe la restricción y colmatación de un ambiente costero-marino marginal durante la fase regresiva que ha tenido lugar durante los últimos 5800 años AP. Un ambiente costero-marino de alta energía a los *c.* 5802 ± 70 ¹⁴C años AP (6406–6728 cal. años AP)–4176 ± 30 ¹⁴C años AP (4567–4822 cal. años AP), sustenta el modelo propuesto por Isla y Espinosa (1998) de un máximo transgresivo a los *c.* 6500–6000 ¹⁴C años AP. Posteriormente, a los 4176 ± 30 ¹⁴C años AP (4567–4822 cal. años AP) se habría establecido una laguna costera que luego evolucionó hacia un ambiente de marisma salobre-dulceacuícola como el que actualmente caracteriza el área de estudio.

En la planicie costera de Mar Chiquita se ha realizado previamente el análisis diatomológico de tres secuencias sedi-

mentarias ubicadas en la llanura marginal (hacia el sector este del cordón central), sitios Arroyo Las Gallinas, Laguna Blanca y La Lagunita (en sentido norte-sur), y dos en la llanura alta hacia el sector oeste del cordón central, sitios Laguna Hinojales y Laguna Nahuel Rucá (Fig. 1).

En la Figura 7 se muestra la correlación entre las sucesiones sedimentológicas estudiadas en la región de Mar Chiquita y en la Figura 8 se integra la reconstrucción paleoambiental inferida a través del análisis diatomológico de las secuencias (inclusive el sitio Ruta 11) y la curva del nivel medio relativo del mar, propuesta por Isla y Espinosa (1998) para la Provincia de Buenos Aires.

En el sitio Arroyo Las Gallinas (norte de la laguna costera), se estudió el contenido diatomológico de una secuencia aflorante que representa la colmatación de un ambiente de marisma salobre-dulceacuícola. A los 3110 ± 80 ¹⁴C años AP (3055–3451 cal. años AP) se registró un ingreso episódico de agua de mar evidenciado por altas proporciones de *Actinoptychus splendens* (Espinosa, 1994).

La sucesión estudiada en La Lagunita, al sur del sitio Arroyo Las Gallinas, permitió inferir dos etapas principales en su evolución, un canal de mareas *c.* 8670 ± 240 ¹⁴C años AP

(9084–10239 cal. Años AP) -2570 ± 70 ^{14}C años AP (2377–2754 cal. años AP) con un rango de salinidad entre 10–28‰ y un ambiente salobre-dulceacuícola desde los *c.* 2570 \pm 70 ^{14}C años AP (2377–2754 cal. años AP) hasta la actualidad, con una salinidad inferida de 0–10‰ (Hassan *et al.*, 2011). Según los estudios geológicos y geomorfológicos se estableció que el sitio La Lagunita se encontraba limitado totalmente por la barrera medanosa a los *c.* 2900–2700 ^{14}C años AP, la cual restringió la influencia marina y propició el desarrollo de las condiciones salobres actuales (Fasano *et al.*, 1982; Schnack *et al.*, 1982). A partir de este momento habría comenzado la colonización de la comunidad halófito y el desarrollo de la marisma (Stutz *et al.*, 2006). Sin embargo, el análisis diatomológico muestra una influencia marina marcada hasta *c.* 2570 \pm 70 ^{14}C años AP (2377–2754 cal. años AP) con dominancia de asociaciones típicas de canales de mareas, y posterior al período de restricción del ambiente establecido por el análisis geológico, lo que estaría sustentando la hipótesis de un crecimiento discontinuo de la barrera progradante en esta área.

Las asociaciones de diatomeas de marisma salobre-dulceacuícola de la sección superior del testigo La Lagunita (últimos *c.* 2570 \pm 70 ^{14}C años AP; 2377–2754 cal. años AP) fueron similares a los hallados en la totalidad del testigo del sitio Arroyo Las Gallinas, establecidos *c.* 3110 \pm 80 ^{14}C años AP (3055–3451 cal. años AP) y a los observados en la zona II-B del testigo Ruta 11. La correlación entre las secuencias de los sitios Arroyo Las Gallinas y La Lagunita muestra una direccionalidad en el establecimiento de las marismas de norte a sur, por lo que podría esperarse que en Ruta 11 (ubicado hacia el norte) se hubiesen instalado con anterioridad a los 3000 ^{14}C años AP. Dado que existen evidencias de cambios climáticos y oscilaciones del nivel del agua en cuerpos someros cercanos, es esperable que hayan ocurrido cambios en las condiciones de la marisma salobre-dulceacuícola que no hemos podido precisar cronológicamente debido a la baja resolución del muestreo en la sección II-B.

Según Espinosa (1994) y Hassan *et al.* (2011) la disminución progresiva de la influencia marina en la laguna en sentido norte-sur se relacionaría con la evolución de la barrera medanosa progradante hacia el suroeste propuesta en base a evidencias geomorfológicas. La información provista por el análisis de diatomeas del testigo Ruta 11 sustenta dicha direccionalidad, dado que la formación de la laguna costera y la consecuente disminución de la influencia marina habría

ocurrido con posterioridad a los 4176 \pm 30 ^{14}C años AP (4567–4822 cal. años AP) mientras que, según los modelos evolutivos, el sitio Arroyo Las Gallinas habría quedado separado del mar a los *c.* 3900 ^{14}C años AP y el sitio La Lagunita hacia *c.* 2900–2700 ^{14}C años AP (Schnack *et al.*, 1982; Fasano, 1991).

Espinosa e Isla (2011a) analizaron las asociaciones de diatomeas del testigo Laguna Blanca extraído de la zona litoral de la planicie costera de Mar Chiquita a 4 km de la costa, ubicado entre los sitios Arroyo Las Gallinas y La Lagunita. El análisis de la secuencia permitió inferir la evolución de un ambiente estuárico producto de dos momentos: una laguna costera que a los 6020 \pm 47 ^{14}C años AP (6711–6939 cal. años AP) registró una máxima influencia marina y que posteriormente evolucionó hacia un ambiente de marisma similar al actual a partir de los *c.* 5444 \pm 45 ^{14}C años AP (6170–6295 cal. años AP). En la sección superficial del testigo Laguna Blanca (70–50 cm de profundidad) se hallaron abundantes niveles de conchillas con *Mactra isabelleana* (D'Orbigny, 1846), *Mactra* sp., *Heleobia* sp., mitílidos, ostreas y *Adelomelon* sp. intercalados con arena fina y material biogénico retrabajado (Fig. 7), y fue estéril para diatomeas por lo que el análisis diatomológico incluyó solo las muestras basales del testigo.

Pudo establecerse una correlación temporal entre la sección analizada del testigo Laguna Blanca (6020–5444 ^{14}C años AP) y la zona I del testigo Ruta 11 (5800–4170 ^{14}C años AP), ya que ambos registros corresponden al período inmediatamente posterior al máximo transgresivo (Isla y Espinosa, 1998; Fig. 8). Durante ese lapso el alto nivel de mar habría producido una ingresión de agua marina en el continente, aparentemente hasta el cordón central. Inmediatamente posterior a la etapa transgresiva, el mar comenzaría a retirarse favoreciendo la depositación de abundantes sedimentos y generando las condiciones ambientales costero-marinas propicias para el desarrollo de diatomeas como *Paralia sulcata*, *Psammococconeis disculoides* y *Actinoptychus* sp. Ambos testigos presentaron similitud en las asociaciones diatomológicas, registrando la evolución desde ambientes costero marginales con una alta influencia marina hacia ambientes someros salobre-dulceacuícolas similares al actual. Sin embargo, la sucesión sedimentaria Laguna Blanca mostró una transición hacia el ambiente de marisma más temprana (*c.* 5444 \pm 45 ^{14}C años AP; 6170–6295 cal. años AP) que en los testigos cercanos La Lagunita y Arroyo Las Gallinas (*c.* 3000 ^{14}C años AP; Fig. 8), pero esto podría de-

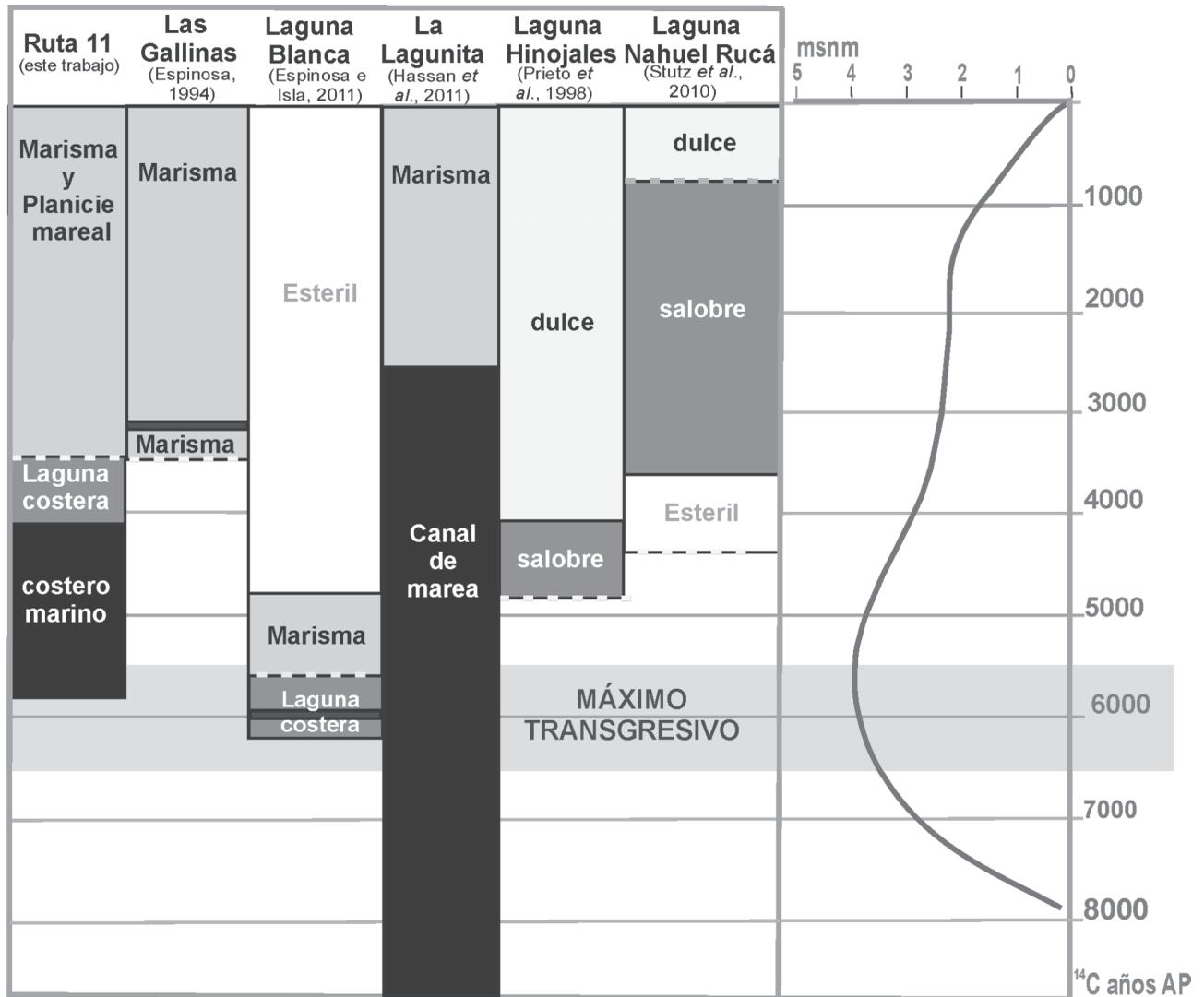


Figura 8. Reconstrucción paleoambiental de la planicie costera de Mar Chiquita a través del análisis de diatomeas y curva del nivel medio relativo del mar propuesta por Isla y Espinosa (1998) para la Provincia de Buenos Aires.

berse a la ubicación del testigo dentro de la llanura marginal. Según las unidades geomorfológicas descritas por Fasano (1991) y Violante (1992), el sitio Laguna Blanca se ubica en las inmediaciones de la zona de *cheniers* (cordones conchiles correspondientes a depósitos de playa de material biogénico), mientras que los otros testigos, La Lagunita, Arroyo Las Gallinas y Ruta 11, fueron extraídos en la llanura marginal (marisma; Fig. 1). Las zonas próximas a los *cheniers* podrían presentar una evolución ambiental distinta a la observada en el resto de los testigos, asociada al depósito de material biogénico retrabajado. Por lo tanto, si bien la asociación diatomológica presente a los *c.* 5444±45 ¹⁴C años AP (6170–6295 cal. años AP) en el sitio Laguna Blanca fue similar a la encontrada en los otros testigos a partir de los 3000 ¹⁴C años AP, no se lo

consideró como evidencia para refutar la hipótesis de la restricción progresiva del ambiente por la evolución de la barrera litoral progradante en sentido noreste-sudoeste.

La reconstrucción de paleoambientes realizada a partir de las asociaciones de diatomeas fósiles del sitio Ruta 11 y su correlación con otros testigos analizados en la región, permite apoyar el esquema evolutivo de la laguna Mar Chiquita propuesto por Schnack *et al.* (1982), ya que se observa una direccionalidad hacia el sudoeste en la restricción del ambiente, que podría vincularse con la progradación de la barrera litoral en esa dirección. Además sustenta la curva de nivel medio relativo del mar para la provincia de Buenos Aires propuesta por Isla y Espinosa (1998) que infiere un máximo de 3,5–4 msnm entre los 6500–6000 ¹⁴C años AP. Sin embargo a partir de los

resultados no es posible discernir si el crecimiento de la barrera progradante en dirección noreste-sudoeste sucedió de forma continua y lineal (Schnack *et al.*, 1982) o de manera discontinua por el crecimiento vertical de barreras (Stutz *et al.*, 2006), si bien ambos sucesos podrían haber ocurrido.

La Laguna Hinojales y la Laguna Nahuel Rucá son dos de las numerosas lagunas someras de agua dulce que se ubican en la unidad geomorfológica de la llanura alta de Mar Chiquita. Si bien, según Violante y Parker (1992), el cordón central se estableció como el límite de la ingesión marina, Prieto *et al.* (1998) y Stutz *et al.* (2010) infirieron en ambas sucesiones sedimentológicas una leve influencia marina en el cuerpo de agua dulce, durante el máximo transgresivo.

Las diatomeas de Laguna Hinojales están representadas por una asociación de aguas salobres compuesta por *Surirella striatula* Turpin, *Rhopalodia gibberula*, *Nitzschia hungarica* Grunow y *Nitzschia compressa* (Bailey) Boyer con anterioridad a los 4240 ± 50 ^{14}C años AP (4576–4773 cal. años AP). Posteriormente, la dominancia de *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, planctónica de agua dulce, indica la evolución del cuerpo de agua hacia condiciones dulceacuícolas. Stutz *et al.* (2002, 2006) propusieron el desarrollo de tres momentos en la evolución de la comunidad vegetal asociada a la laguna. En un primer momento, reconocen una comunidad de hidrófitas y halófitas representada por Chenopodiaceae entre el lapso 4500–3000 ^{14}C años AP, como consecuencia de la ingesión marina del máximo transgresivo. Posteriormente, el restablecimiento de las condiciones dulceacuícolas a partir de *c.* 3000 años AP hasta la actualidad fue inferido por el desarrollo de una comunidad vegetal exclusivamente hidrófita y, finalmente, el establecimiento de condiciones ambientales similares a las actuales a partir de los 440 ± 50 ^{14}C años AP (423–521 cal. años AP), donde la laguna se someriza y se desarrollan las comunidades biológicas actuales. Momentos de mayor profundidad durante el lapso 2000–400 ^{14}C años AP fueron inferidos mediante el análisis del registro polínico teniendo en cuenta la proporción de taxones emergidos y sumergidos, los cuales fueron coincidentes con un incremento de las precipitaciones registradas a nivel regional para este lapso (Stutz *et al.*, 2002). Por su parte, Head *et al.* (2003) analizaron el contenido de palinomorfos no polínicos e identificaron especímenes de *Cobricosphaeridium* sp. acompañados de algas de agua dulce o ligeramente salobres en la base de la sucesión se-

dimentaria (4500–3300 años AP). Esta asociación les permitió caracterizar un ambiente salobre diferente al típicamente dulceacuícola que suprayace. Los resultados concuerdan con los obtenidos a través del análisis de diatomeas.

La evolución de la Laguna de Nahuel Rucá fue inferida por Stutz *et al.* (2010) mediante el análisis de múltiples indicadores biológicos sobre una sucesión sedimentaria de 125 cm. Según los autores, pudo identificarse una etapa anterior a los 3480 ± 40 ^{14}C años AP (3572–3781 cal. años AP) de condiciones salobres mediante fitolitos, polen y ostrácodos (ya que para este sector el análisis diatomológico resultó estéril) y los resultados fueron correlacionadas con ingesiones de agua de mar al cuerpo lagunar durante la transgresión marina. Durante el lapso 3480 ± 40 ^{14}C años AP (3589–3830 cal. años AP) a 871 ^{14}C años AP (678–792 cal. años AP), se registró una asociación de diatomeas de aguas salobres muy similar a la encontrada en Laguna Hinojales con anterioridad a los 4240 ± 60 ^{14}C años AP (4567–4858 cal. años AP), donde dominaron *Campylodiscus clypeus* (Ehrenberg) Ehrenberg, *Surirella striatula* y *Caloneis formosa* (Gregory) Cleve. Los resultados fueron además avalados por polen, ostrácodos, foraminíferos, moluscos y palinomorfos no polínicos. Posteriormente a los 871 ^{14}C años AP (678–792 cal. años AP) dominaron *Aulacoseira granulata* y *Cyclotella meneghiniana*. La elevada abundancia de estas especies permitió inferir un cuerpo de agua profundo, mientras que a través de otros micro y macrofósiles fue inferido el establecimiento de condiciones dulceacuícolas del cuerpo lagunar. Hacia el tope de la secuencia Nahuel Rucá (20–0 cm) se infirió la somerización del cuerpo de agua a través de una elevada abundancia de diatomeas epífitas y bentónicas, coincidentemente con los resultados de otros indicadores analizados.

A través de la evidencia diatomológica se pueden identificar condiciones salobres en las zonas deprimidas al oeste del cordón central, que podrían haber afectado a las comunidades biológicas de las lagunas Nahuel Rucá e Hinojales y sus alrededores. Hacia el este del cordón central se habría registrado el desarrollo de la barrera litoral progradante en dirección sur, aumentando la restricción del ambiente y estableciendo las características salobres de la llanura marginal. Stutz *et al.* (2006) propusieron que las comunidades vegetales de la llanura marginal ya estarían establecidas con sus distribuciones actuales a partir de los 3000 ^{14}C años AP, lo cual fue coincidente tem-

poral y espacialmente con las asociaciones de diatomeas típicas de marismas salobres halladas en la región, a partir de los 3000–2500 ^{14}C años AP (Fig. 8).

Los cambios ambientales holocenos inferidos en la región de Mar Chiquita, a través del análisis de diatomeas, fueron consistentes con los resultados obtenidos en otras zonas del sudeste de la provincia de Buenos Aires en el lapso comprendido entre los *c.* 7000 y 3900 ^{14}C años AP, donde se habrían generado depósitos producto de la colmatación de ambientes estuáricos durante la fase transgresiva-regresiva. Entre 6200–4800 ^{14}C años AP se infirió una laguna estuarina en el sitio La Ballenera (Espinosa *et al.*, 2003). En el sitio Las Brusquitas se interpretó la formación de un cuerpo de agua estuárico entre los 6200–3900 ^{14}C años AP (Vilanova *et al.*, 2006), mientras que en Punta Hermengo se registró la presencia de un canal de mareas a los *c.* 6700 ^{14}C años AP. En el río Quequén Grande se infirió una laguna estuarina de grandes dimensiones entre los *c.* 7000–5350 ^{14}C años AP que se expandió hasta los 12 km de la boca del estuario actual con una salinidad máxima de 13‰ (Espinosa *et al.*, 2012).

El presente estudio refleja la importancia del análisis diatomológico como herramienta para reconstruir los ambientes del pasado. La gran sensibilidad y la clara respuesta de las asociaciones de diatomeas respecto a los cambios ambientales asociados a las fluctuaciones del nivel del mar las posiciona como indicadores biológicos óptimos para reconstruir la evolución costera, las tendencias transgresivas-regresivas y la posición de la línea de costa.

CONCLUSIONES

La sucesión sedimentológica del sitio Ruta 11 representa la restricción y colmatación de un ambiente costero-marino marginal durante el Holoceno medio y tardío (últimos 5800 años AP). El modelo propuesto por Isla y Espinosa (1998) de un máximo transgresivo a los *c.* 6500–6000 ^{14}C años AP es reforzado por la interpretación del testigo estudiado. Se infirió un paleoambiente costero-marino de alta energía a los *c.* 5802±70 ^{14}C años AP (6406–6728 cal. años AP)–4176±30 ^{14}C años AP (4567–4822 cal. años AP) que evoluciona hacia una laguna costera a los 4176±30 ^{14}C años AP (4567–4822 cal. años AP) y posteriormente hacia un ambiente de marisma salobre-dulceacuícola como el que actualmente caracteriza el área de estudio. La comparación con otros registros fósiles de

diatomeas permitió la reconstrucción paleoambiental de la planicie costera Mar Chiquita. La ubicación de la sucesión Ruta 11 (al norte de todas las anteriormente estudiadas) permitió interpretar la dirección del crecimiento de la barrera litoral progradante en sentido noreste-sudoeste como lo postulan los modelos sedimentológicos previos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a G. Hassan, M. Taglioretti, M. Graziani y F.I. Isla (UNMdP/CONICET, Argentina) por la asistencia en el trabajo de campo, a S. Serra (CONICET, Argentina) por su asesoramiento en el procesamiento de las muestras, y a F.I. Isla y J. Bedmar (UNMdP/CONICET, Argentina) por sus valiosos comentarios, colaboración y la realización de la descripción litológica. A los revisores anónimos y las editoras R. Guersteyn y M.A. Pagani por las sugerencias que ayudaron a mejorar sustancialmente el manuscrito. La investigación fue financiada por los proyectos de Universidad Nacional de Mar del Plata (EXA 548/ 11) y PIP 1318 (CONICET).

BIBLIOGRAFÍA

- Abrantes, F. 1991. Increased upwelling off Portugal during the last glaciation: diatom evidence. *Marine Micropaleontology* 17: 285–310.
- Aguirre, M.L. y Whatley, R.C. 1995. Late Quaternary marginal marine deposits and paleoenvironments from northeastern Buenos Aires Province: a review. *Quaternary Science Reviews* 14: 223–254.
- Archibald, R.E.M. 1983. The diatoms of the Sundays and Great Fish Rivers in the eastern Cape Province of South Africa. En: J. Cramer (Ed.), *Bibliotheca Diatomologica* vol. 1. A.R. Gantner Verlag, Vaduz, 673 p.
- Bao, R., Freitas, M.C. y Andrade, C. 1999. Separating eustatic from local environmental effects: a late-Holocene record of coastal change in Albufeira Lagoon, Portugal. *The Holocene* 9: 341–352.
- Bedmar, J., Fayó, R., Espinosa, M.A. e Isla, F.I. 2014. Progradación y septación de la laguna costera de Mar Chiquita, Buenos Aires. *14^{ta} Reunión Argentina de Sedimentología RAS* (Puerto Madryn, Chubut).
- Cavallotto, J.L., Violante, R.A. y Parker, G. 2004. Sea-level fluctuations during the last 8600 years in the de la Plata River (Argentina). *Quaternary International* 114: 155–165.
- Cooper, S.R. 1995. Diatoms in sediment cores from the mesohaline Chesapeake Bay, USA. *Diatom Research* 10: 39–89.
- De Francesco, C.G. e Isla, F.I. 2003. Distribution and abundance of Hydrobiid Snails in a Mixed Estuary and a Coastal lagoon, Argentina. *Estuaries* 25: 790–797.
- De Stefano, M. y Marino, D. 2003. Morphology and taxonomy of *Amphicoconeis* gen. nov. (Achnanthes, Bacillariophyceae, Bacillariophyta) with considerations on its relationship to other monoraphid diatom genera. *European Journal of Phycology* 38: 361–370.
- De Wolf, H. 1982. Method of coding of ecological data from diatoms for computer utilization. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst* 36: 95–99.
- Denys, L. 1989. The transition from Calais deposits to surface peat in the western Belgian coastal plain. Results of a paleo-environmental diatom study. *Professional Paper Belgische Geologische Dienst* 241: 20–43.
- Denys, L. 1991–1992. A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the Western Belgian coastal plain with the survey of their apparent ecological requirements, I. Introduction, ecological code and complete list. *Service Geological of Belgium Professional Paper* 246: 1–41.
- Denys, L. 1994. Palaeolimnology of the hypertrophic man-made Lake Blankart (Belgium); the diatom record. *13th International Diatom Symposium* (CIUDAD), Abstract book: 164.
- Denys, L. y De Wolf, H. 1999. Diatoms as indicators of coastal paleoenvironments and relative sea-level change. En: E.F. Stoermer y J.P. Smol (Eds.), *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, London, p. 277–297.
- Dos Santos, C.B. 2011. [Assembléas de diatomáceas em sedimentos holocenos

- no extremo sul do Brasil: reconstruções paleoambientais. Tesis de maestría, Universidad Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre. 116 p. [Inédita].
- Escandell, A., Espinosa, M.A. e Isla, F.I. 2009. Diatomeas como indicadoras de variaciones de salinidad durante el Holoceno tardío en el río Negro, Patagonia Norte, Argentina. *Ameghiniana* 46: 461–468.
- Escandell, A. y Espinosa, M.A. 2012. *Evolución paleoambiental de estuarios mesomareales de Patagonia*. Editorial académica española, 83 p.
- Espinosa, M.A. 1994. Diatom paleoecology of the Mar Chiquita lagoon delta, Argentina. *Journal of Paleolimnology* 10: 17–23.
- Espinosa, M.A. 2008. Diatoms of Patagonia and Tierra del Fuego. En: J. Rabassa (Ed.), *Late Cenozoic of Patagonia and Tierra del Fuego. Developments in Quaternary Sciences* 11: 383–392.
- Espinosa, M.A. e Isla, F.I. 2011a. Registro de diatomeas del máximo transgresivo en la Planicie holocénica de Mar Chiquita, Argentina. *13^{er} Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário ABEQUA. 3^{er} Encontro do Quaternário Sudamericano. Actas* 1–5. <http://www.abequa.org.br>
- Espinosa, M.A. e Isla, F.I. 2011b. Coastal change during Late Holocene at the San Blas Bay estuarine complex, Argentina. *Ameghiniana* 48: 411–423.
- Espinosa, M.A. e Isla, F.I. 2014. Modern diatom assemblages in surface sediments from meso-macrotidal estuaries of Patagonia, Argentina. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. En prensa.
- Espinosa, M.A., De Francesco, C.G. e Isla, F.I. 2003. Paleoenvironmental reconstruction of Holocene coastal deposits from the southeastern Buenos Aires Province, Argentina. *Journal of Paleolimnology* 29: 49–60.
- Espinosa, M.A., Hassan, G.S. e Isla, F.I. 2006. Diatom distribution across a temperate microtidal marsh, Mar Chiquita Coastal Lagoon, Argentina. *Thalassas, An International Journal of Marine Sciences* 22: 9–16.
- Espinosa, M.A., Hassan, G.S. e Isla, F.I. 2012. Diatom inferred salinity changes in relation to Holocene sea level fluctuations in estuarine environments from Argentina. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology* 36: 373–386.
- Fasano, J.L. 1991. *Geología y geomorfología. Región III. Faro Querandí, Mar de Cobo, Provincia de Buenos Aires*. Informe Final CFI- UNMDP, Mar del Plata, 118 p.
- Fasano, J.L., Hernandez, M.A., Isla, F.I. y Schnack, E.J. 1982. Aspectos evolutivos y ambientales de la laguna Mar Chiquita (Provincia de Buenos Aires, Argentina). *Acta Oceanológica* 4: 285–292.
- Ferrero, L. 2006. *[Micropaleontología y paleoecología del Cuaternario del sudeste de la Provincia de Buenos Aires*. Tesis Doctoral, Facultad de Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, 373 p. [Inédita].
- García, M. 2001. *Psammococonetes*, a new genus of Bacillariophyta from Brazilian sandy beaches. *Diatom Research* 16: 307–316.
- García-Rodríguez, F., Sprechmann, P., Metzeltin, D., Scafati, L., Melendi, D.I., Volkheimer, W., Mazzeo, N., Hiller, A., Von Tümpling Jr, W. y Scasso, F. 2004a. Holocene trophic state changes in relation to sea level variation in Lake Blanca, SE Uruguay. *Journal of Paleolimnology* 31: 99–115.
- García-Rodríguez, F., Metzeltin, D., Sprechmann, P., Trettin, R., Stams, G. y Beltrán-Morales, L.F. 2004b. Upper Pleistocene and Holocene paleosalinity and trophic state changes in relation to sea level variation in Rocha Lagoon, Southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology* 32: 117–135.
- Germain, H. 1981. *Flore des Diatomées. Eaux douces et saumâtres du massif Armoricaín et des contrées voisines d'Europe Occidentale*. Société nouvelle des Editions Boubée, Paris, 446 p.
- Gil, I.M., Abrantes, F. y Hebbeln, D. 2006. The North Atlantic Oscillation forcing through the last 2000 years: Spatial variability as revealed by high-resolution marine diatom records from N and SW Europe. *Marine Micropaleontology* 60: 113–129.
- Gómez, A.E. y Perillo, G.M.E. 1991. Submarine outcrops underneath shoreface-connected sand ridges, outer Bahia Blanca Estuary, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 9: 23–37.
- Grimm, E.C. 2004. *Tilia Software*. Illinois State Museum, Research and Collection Center, Springfield, Illinois, USA.
- Guiry, M.D. y Guiry, G.M. 2012. *Algaebase*. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. y Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for educations and data analysis. *Paleontología electrónica* 4: 1–9.
- Hartley, B. 1996. En: P.A. Sims (Ed.), *An Atlas of British Diatoms*. Biopress Ltd., Bristol, 601 p.
- Hassan, G.S. 2010. *Paleoecological significance of diatoms in Argentinean estuaries*. Nova Science Publishers, Nueva York, 103 p.
- Hassan, G.S., Espinosa, M.A. e Isla, F.I. 2006. Modern diatom assemblages in surface sediments from estuarine systems in the southeastern Buenos Aires Province, Argentina. *Journal of Paleolimnology* 35: 39–53.
- Hassan, G.S., Espinosa, M.A. e Isla, F.I. 2009. Diatom-based inference model for Paleosalinity reconstructions in estuaries along the northeastern coast of Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 275: 77–91.
- Hassan, G.S., Espinosa, M.A. e Isla, F.I. 2011. Fluctuaciones de salinidad durante el holoceno en la laguna costera de Mar Chiquita (Provincia de Buenos Aires): una aproximación cuantitativa basada en diatomeas. *Ameghiniana* 48: 496–507.
- Head, M.J., Borel, C.M., Guerin, G.R. y Harland, R. 2003. The problematic aquatic palynomorph genus *Cobricosphaeridium* Harland and Sarjeant 1970 emend. with new records from the Holocene of Argentina. *Journal of Paleontology* 77: 963–985.
- Hendey, N. 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. V. Bacillariophyceae (Diatoms). *Fishery Investigations Series, London: Her Majesty's Stationery Office* 4: 317.
- Hogg, A.G., Hua, Q., Blackell, P.G., Niu, M., Buck, C.E., Guilderson, T.P., Heaton, T.J., Palmer, J.G., Reimer, P.J., Reimer, R.W., Turney, C.S.M. y Zimmerman, S.R.H. 2013. SHCal13 Southern Hemisphere calibration, 0–50000 years cal BP. *Radiocarbon* 55: 1889–1903.
- Hustedt, F. 1930. Bacillariophyta (Diatomae). En: A. Pascher (Ed.), *Die Süßwasserflora Mitteleuropas*. G. Fisher Verlag, Jena, 466 p.
- Hustedt, F. 1937–1938. Systematische und ökologische Untersuchungen über die Diatomeen. “Flora von Java, Bali und Sumatra nach dem Material der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition”. *Archiv für Hydrobiologie supplement-Band* 15: 131–506.
- Hustedt, F. 1955. Marine littoral diatoms of Beaufort, North Carolina. *Duke University Marine Station, Bulletin* 6: 1–67.
- Hustedt, F. 1959–1966. Die Kieselalgen. En: L. Rabenhorst (Ed.), *Kryptogamen flora von Deutschland. Österreich und der Schweiz* 7: 737–845 (1959); 7: 161–348 (1962); 7: 557–816 (1966).
- Isla, F.I. 1989. Holocene sea-level fluctuation in the southern hemisphere. *Quaternary Science Review* 8: 359–368.
- Isla, F.I. 1997. Seasonal behavior of Mar Chiquita tidal inlet in relation to adjacent beaches, Argentina. *Journal of Coastal Research* 13: 1221–1223.
- Isla, F.I. 1998. Holocene coastal evolution of Buenos Aires. *Quaternary of South America y Antarctic Peninsula* 11: 297–321.
- Isla, F.I. y Espinosa, M.A. 1995. Coastal environmental changes associated with Holocene sea-level fluctuation: south-eastern Buenos Aires, Argentina. *Quaternary International* 26: 55–60.
- Isla, F.I. y Espinosa, M.A. 1998. Modelos sedimentarios de colmatación de pequeños estuarios dominados por limo, provincia de Buenos Aires. *7^{ma} Reunión de sedimentología* (Salta), *Actas*: 24–36.
- Isla, F.I. y Gaído, E.S. 2001. Evolución geológica de la laguna de Mar Chiquita. En: O. Iribarne (Ed.), *Reserva de Biosfera Mar Chiquita: características físicas, biológicas y ecológicas*. Editorial Martin, Mar del Plata, Argentina, p. 19–30.
- Johnson, D.E. 1998. *Applied Multivariate Methods for data analysis*. Duxbury Press, Belmont, 592 p.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. 1986. *Bacillariophyceae*. 1. Teil: Naviculaceae. En: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig y D. Mollenhauer (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2–1. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 876 p.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. 1988. *Bacillariophyceae*. 2. Teil: Bacillariophyceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. En: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig y D. Mollenhauer (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2–2. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 596 p.
- Krammer, K. y Lange-Bertalot, H. 1991. *Bacillariophyceae* 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. En: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig y D. Mollenhauer (Eds.), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2–3. VEB Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 576 p.
- Lange-Bertalot, H. 2001. *Navicula sensu stricto*, 10 genera separated from

- Navicula* sensu lato *Frustulia*. En: H. Lange-Bertalot (Ed.), *Diatoms of Europe volumen 2*. Koeltz Scientific Books, Koenigstein, 526 p.
- Marquez, M. y Ferrero, L. 2011. Paleocología de foraminíferos de un testigo del Holoceno en la planicie costera de la laguna de Mar Chiquita, Buenos Aires Argentina. *Ameghiniana* 48: 289–304.
- Martos, P. y Reta, R. 1997. Aspectos hidrográficos de la región estuarial de la laguna de Mar Chiquita, Provincia de Buenos Aires. *2^{do} Congreso Argentino de limnología. 1^{ra} Reunión Argentina sobre Sistemas Costeros Mixohalinos* (Buenos Aires), *Actas*: 18–24.
- McQuoid, M.R. y Hobson, L.A. 1998. Assessment of palaeoenvironmental conditions on southern Vancouver Island, British Columbia, Canada using the marine tychoplankter *Paralia sulcata*. *Diatom Research* 13: 311–321.
- McQuoid, M.R. y Nordberg, K. 2003. The diatom *Paralia sulcata* (Ehr.) Cleve as an environmental indicator species in coastal sediments. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 56: 339–354.
- Medeanic, S., Torgan, L.C., Clerot, L.C.P. y Santos, C.B.S. 2009. Holocene Marine Transgression in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil: Palynomorph and Diatom Evidence. *Journal of Coastal Research* 25: 224–233.
- Moreno, J.L., Licea, S. y Santoyo, H. 1996. *Diatomeas del Golfo de California*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, México DF, 273 p.
- Navarro, J.N. 1982. Marine diatoms associated with mangrove prop roots in the Indian River, Florida, U.S.A. *Bibliotheca Phycologica* 61: 1–151.
- Prieto, A.R., Stutz, S.M., Ferrero, L., Espinosa, M.A., De Francesco, C.G. e Isla, F.I. 1998. Evidencias de la transgresión marina holocénica en la laguna Hinojales (37° 34' S; 57° 27' O). *5^{as} Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses* (Mar del Plata), *Actas*: 257.
- Prieto, A.R., Romero, M.V., Vilanova, I., Bettis, I.E.A., Espinosa, M.A., Haj, A.E., Gomez, L. y Bruno, L.I. 2014. A multi-proxy study of Holocene environmental change recorded in alluvial deposits along the southern coast of the Pampa region, Argentina. *Journal of Quaternary Science* 29: 329–342.
- Rumrich, U., Lange-Bertalot, H. y Rumrich, M. 2000. Diatoms of the Andes. From Venezuela to Patagonia/Tierra del Fuego. En: H. Lange-Bertalot (Ed.). *Iconographia Diatomologica* vol. 9. A.R.G. Gantner Verlag, Koeltz Scientific Books, Königstein, 673 p.
- Ryu, S., Sangheon, Y. y Lee, S.J. 2005. Late Pleistocene–Holocene Palaeoenvironmental changes inferred from the diatom record of the Ulleung Basin, East Sea (sea of Japan). *Marine Micropaleontology* 55: 157–182.
- Sar, E.A. 1996. Flora diatomológica de Bahía San Antonio (Provincia de Río Negro, Argentina). O. Pennales I. *Revista del Museo de La Plata (nueva serie)* 14, *Botánica* 107: 399–432.
- Sar, E.A., Romero, O. y Sunesen, I. 2003. *Cocconeis* Ehrenberg and *Psammococconeis* García (Bacillariophyta) from the gulf of San Matias, Patagonia, Argentina. *Diatom Research* 18: 79–106.
- Schnack, E.J., Fasano, J.L. e Isla, F.I. 1982. The evolution of Mar Chiquita lagoon, Province of Buenos Aires, Argentina. En: D.J. Colquhoun (Ed.), *Holocene sea-level fluctuations: magnitudes and causes*, IGCP 61. University of South Carolina, Columbia, SC, p. 143–155.
- Schrader, H.J. y Gersonde, R. 1978. Diatoms and silicoflagellates in the eight meters section of the lower Pleistocene at Capo Rosello. *Utrecht Micropaleontological Bulletin* 17: 129–176.
- Simonsen, R. 1969. Diatoms as indicators estuarine environments, Veröffentl. Inst. Meersforsch. *Bremerhaven* 11: 287–291.
- Snoeijs, P. 1999. Diatoms and environmental changes in brackish waters. En: E.F. Stoermer y J.P. Smol (Eds.), *The diatoms: Applications for the environmental and Earth Science*. Cambridge University Press, London, p. 298–333.
- Stutz, S.M. 2000. [Historia de la vegetación del litoral bonaerense durante el último ciclo transgresivo-regresivo del Holoceno. Tesis Doctoral, Facultad de Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, 128 p. Inédita.].
- Stutz, S.M. 2001. Vegetación del área de la laguna Mar Chiquita. En: O. Iribarne (Ed.), *Reserva de Biosfera Mar Chiquita: Características físicas, biológicas y ecológicas*. Editorial Martín, Mar del Plata, p. 75–78.
- Stuiver, M., Reimer, P.J. y Reimer, R.W. 2014. Calib 7.0.2. World Wide Web: <http://calib.qub.ac.uk/calib/>
- Stutz, S.M., Prieto, A.R. e Isla, F.I. 2002. Historia de la vegetación del Holoceno de la laguna Hinojales, sudeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Ameghiniana* 39: 85–94.
- Stutz, S. y Prieto, A.R. 2003. Modern pollen and vegetation relationships in Mar Chiquita coastal lagoon area, southeast of Pampa grasslands, Argentina. *Review of Palaeobotany and palinology* 126: 183–195.
- Stutz, S.M., Prieto, A.R. e Isla, F.I. 2006. Holocene evolution of the Mar Chiquita coastal lagoon area (Argentina) indicated by pollen analysis. *Journal of Quaternary Science* 21: 17–28.
- Stutz, S., Borel, C.M., Fontana, S.L., Del Puerto, L., Inda, H., García-Rodríguez, F. y Tonello, M.S. 2010. Late Holocene climate and environment of the SE Pampa glassland, Argentina, inferred from biological indicators in shallow, freshwater lake Nahuel Rucá. *Journal of Paleolimnology* 44: 761–775.
- Sylvestre, F., Beck-Eichler, B., Duleba, W. y Debenay, J. 2001. Modern benthic diatom distribution in a hypersaline coastal lagoon: the Lagoa de Arauama (R.J.), Brazil. *Hydrobiologia* 443: 213–231.
- Vilanova, I., Prieto, A.R. y Stutz, S. 2006. Historia de la vegetación en relación con la evolución geomorfológica de las llanuras costeras del este de la Provincia de Buenos Aires durante el Holoceno. *Ameghiniana* 43: 147–159.
- Violante, R.A. 1992. Ambientes sedimentarios asociados a un sistema de barrera litoral del Holoceno en la llanura costera al sur de Villa Gesell, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47: 201–214.
- Violante, R.A. y Parker, G. 1992. Estratigrafía y rasgos evolutivos del Pleistoceno medio a superior y Holoceno en la llanura costera de la región de faro Querandí (Provincia de Buenos Aires). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47: 215–227.
- Violante, R.A. y Parker, G. 2004. The post-last glacial maximum transgression in the de la Plata River and adjacent inner continental shelf, Argentina. *Quaternary International* 114: 167–181.
- Violante, R.A., Parker, G. y Cavallotto, J.L. 2001. Evolución de las llanuras costeras del este bonaerense entre la bahía Samborombón y la laguna de Mar Chiquita durante el Holoceno. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56: 51–66.
- Vos, P.C. y De Wolf, H. 1988. Methodological aspects of paleo-ecological diatom research in coastal areas of The Netherlands. *Geologie en Mijnbouw* 67: 31–40.
- Vos, P.C. y De Wolf, H. 1993. Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. *Hydrobiologia* 269: 285–296.
- Vos, P.C. y De Wolf, H. 1994. Palaeoenvironmental research on diatoms in early and middle Holocene deposits in central North Holland (The Netherlands). *Netherlands Journal of aquatic Ecology* 28: 97–115.
- Weiss, D., Geitzner, K. y Shaw, F.C. 1978. Foraminifera, diatom and bivalve distribution in recent sediments of the Hudson estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 7: 393–400.
- Zong, Y. 1997a. Implications of *Paralia sulcata* abundance in Scottish isolation basins. *Diatom Research* 12: 125–120.
- Zong, Y. 1997b. Mid- and late-Holocene sea-level changes in Roudsea Marsh, northwest England: a diatom biostratigraphical investigation. *The Holocene* 7: 311–323.

doi: 10.5710/AMGH.13.10.2014.2812

Recibido: 30 de julio de 2014**Aceptado:** 13 de octubre de 2014