

PALINOLOGÍA Y CONDICIONES PALEOAMBIENTALES DURANTE LOS ÚLTIMOS 12.600 CAL. AÑOS AP EN SALINAS DEL BEBEDERO (SAN LUIS, ARGENTINA)



LEANDRO DAVID ROJO¹, MARTA MERCEDES PAEZ², JORGE ORLANDO CHIESA³,
EDGARDO NÉSTOR STRASSER³ Y FRANK SCHÄBITZ⁴

¹Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Cuyo (ICB-UNCuyo) – Laboratorio de Palinología, Museo de Historia Natural de San Rafael. Parque Mariano Moreno s/n, 5600 San Rafael, Argentina. ldrojo@gmail.com

²Laboratorio de Palinología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, Funes 3250 B7602AYJ Mar del Plata, Argentina. paez.marta@gmail.com

³Departamento de Geología, Universidad Nacional de San Luis, Ejército de los Andes 950, D5700HHW San Luis, Argentina. jchiesa@unsl.edu.ar

⁴Universität zu Köln, Seminar für Geographie und ihre Didaktik, Gronewaldstr. 2, 50931 Köln, Alemania.

Resumen. La información paleoambiental para el Cuaternario tardío del centro-oeste de Argentina es aún escasa, debido principalmente a la dificultad de encontrar archivos paleoclimáticos que la registren. Este trabajo presenta el análisis palinológico y sedimentológico de una secuencia sedimentaria de la cuenca salino-lacustre Salinas del Bebedero, provincia de San Luis (33°20'S–66°45'O), para contribuir al conocimiento de la historia de la vegetación y la evolución paleoambiental de la región de Cuyo, centro-oeste de Argentina, durante los últimos *c.* 12.600 cal. años AP. El registro sedimentológico sugiere que el nivel lacustre presentó un máximo *c.* 12.600 cal. años AP y luego fue disminuyendo hasta *c.* 3600 años AP, cuando habría alcanzado los niveles actuales. El registro polínico indica el desarrollo de una vegetación regional con afinidad Monte-Espinal similar a la actual y sin mayores cambios durante todo el Holoceno. Alrededor de los 12.600 cal. años AP, se habrían desarrollado en el área comunidades halófitas comparables con las que se desarrollan actualmente en los bordes internos de la salina, sugiriendo condiciones áridas debido a menores precipitaciones y/o mayores temperaturas que las presentes.

Palabras clave. Desierto del Monte. Transición Pleistoceno tardío-Holoceno. Reconstrucción paleoambiental. Palinología

Abstract. PALYNOLOGY AND PALEOENVIRONMENTAL CONDITIONS DURING THE LAST 12,600 CAL. YEARS BP AT SALINAS DEL BEBEDERO (SAN LUIS, ARGENTINA). The availability of late Quaternary paleoenvironmental information in central-western Argentina is still scarce because of the paucity of archives recording past environmental changes. This work reports palynological and sedimentological analyses of a sedimentary sequence from a core taken in the Salinas del Bebedero playa-lake basin (33°20'S–66°45'W), with the main objective of contributing towards the knowledge on vegetation and paleoenvironmental history in central western Argentina during the last *c.* 12,600 cal. yrs BP. Sedimentological results suggest a maximum lake high-stand *c.* 12,600 after which lake levels decreased until *c.* 3600 cal. yrs BP when modern lake levels were reached. Pollen analysis suggests a regional vegetation with Monte-Espinal affinity similar to the present-day vegetation, which essentially remained unchanged during the Holocene. Prior to that time, the predominance of halophytic communities around *c.* 12,600 cal. yrs BP suggests more arid conditions due to lower precipitation (and/or higher temperatures) compared with the present day conditions.

Key words. Monte desert. Late Pleistocene-Holocene transition. Paleoenvironmental reconstruction. Palynology

EL conocimiento de las condiciones paleoambientales del Cuaternario tardío en la región centro-oeste de Argentina es aún escaso, principalmente debido a la falta de archivos paleoecológicos y paleoclimáticos con registros continuos y con alta resolución temporal. La dificultad de encontrar archivos paleoambientales con buen ajuste cronológico se atribuye principalmente a las condiciones áridas y semiáridas que predominan en la región, con alta variabilidad en la tasa de depositación clástica en los ambientes sedimentarios que obstaculizan la obtención de acumulación continua de sedimentos, en combinación con el desarrollo de una

vegetación con escasa cobertura y baja producción polínica (Zárate, 2002; Paez *et al.*, 2010). Las reconstrucciones sobre la historia de la vegetación para el centro-oeste de Argentina están basadas principalmente en los trabajos pioneros sobre el análisis polínico del sitio arqueológico Gruta del Indio ubicado en el piedemonte del Bloque de San Rafael (34°45'S–68°22'O; 670 msnm) (D'Antoni, 1983) y de las vegas cordilleranas Salado (34°11'S–69°32'O; 3200 msnm) y Salina 2 (32°15'S–69°20'O; 2000 msnm) (Markgraf, 1983). Posteriormente, en el piedemonte de Mendoza se realizaron aportes restringidos a distintas ventanas temporales del

Holoceno y de registros diversos (*e.g.*, arqueológicos, vegas, depósitos fluviales, eólicos), los cuales han sido sintetizados por Paez *et al.* (2010). En general, todos ellos representan diferentes ambientes sedimentarios, factor que ha obstaculizado una buena correlación y comparación de los resultados, e indica la dificultad de encontrar en la región archivos paleoambientales adecuados, tales como lagos o lagunas.

Salinas del Bebedero, una cuenca endorreica salina localizada dentro de la región árida-semiárida del centro-oeste de Argentina, tiene una acumulación de sedimentos que abarcan al menos los últimos *c.* 20.000 ¹⁴C años AP (González, 1994), lo cual ha atraído la atención de geólogos y paleontólogos por su potencial como archivo paleoambiental y paleoclimático. Los primeros estudios paleoambientales realizados a comienzos del siglo XX reconocieron líneas de paleocostas vinculadas con antiguos niveles de lago (Doering, 1906; Gerth, 1914; Frengüelli, 1922; Deletang, 1929; entre otros; en González, 1981). En las décadas de 1980 y 1990 nuevos estudios geológicos y micropaleontológicos (González *et al.*, 1980, 1981, 1998; González, 1982, 1983, 1994; González y Weiler, 1984; Maidana, 1994; González y Maidana, 1998; García, 1999) interpretaron las variaciones en el nivel del lago como el resultado principalmente de variaciones del aporte fluvial de aguas de deshielo procedentes desde la Cordillera de los Andes, producto de al menos cuatro episodios fríos ocurridos a nivel global en los últimos *c.* 25.000 años AP (24.000 cal. años AP, 20.800 cal. años AP, 17.900 cal. años AP, 15.800–14.400 cal. años AP). A finales de la década de 1990, un proyecto de investigación multidisciplinario (*Patagonian Lake Drilling Project*-PATO (coordinado por V. Markgraf y D. Aristegui; González *et al.*, 1998) realizó cuatro perforaciones en la salina, con el objetivo general de recuperar y analizar registros paleoclimáticos –basados en polen, diatomeas y análisis mineralógicos de los sedimentos– para comprender la dinámica interhemisférica de los cambios climáticos en América en escalas glaciales-interglaciales. Los primeros resultados obtenidos del análisis de sedimentos, diatomeas y polen de uno de los testigos –SBIV (González *et al.*, 1998)– evidenciaron cambios en el aporte de agua a la cuenca, los que no pudieron ser calibrados temporalmente debido a la falta de control cronológico. Resultados preliminares de otro testigo –SBIII (Rojo, 2003)– señalaron la presencia de vegetación halófila asociada con taxones de la vegetación regional del Monte similar al actual, aunque, al igual que en SBIV, la falta de edades absolutas permitió sólo realizar inferencias paleoambientales sin control cronológico. En consecuencia, aunque esta cuenca salina presenta

registros que documentan varios aspectos de los cambios paleoambientales, hasta el presente no se dispone de una reconstrucción de la vegetación con un marco cronológico que permita calibrar los cambios ambientales acaecidos en dicha cuenca durante el Holoceno.

Con el fin de contribuir al conocimiento paleoambiental del Holoceno del centro-oeste de Argentina, el objetivo del presente trabajo es reconstruir la historia de la vegetación y evolución del cuerpo lacustre de Salinas del Bebedero. Esto se llevará a cabo mediante el análisis polínico y sedimentológico completo del testigo SBIII, de 10 m de longitud, extraído del sector interno de la salina y, además, de edades radiocarbónicas que permiten realizar un control cronológico de los últimos 12.600 años AP. Para ello, primero se presenta una síntesis del contexto ambiental del área de estudio y luego se reportan los resultados. Por último se infieren las condiciones paleoambientales holocenas para la cuenca de acuerdo con la cronología obtenida para la sucesión sedimentaria y se discuten sus implicancias regionales.

ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca endorreica salino-lacustre Salinas del Bebedero 33°20'S–66°45'O; 380 msnm), ubicada en el sector occidental de la provincia de San Luis (Fig. 1), está conformada por un sistema de tributarios efímeros. Desde el río Desaguadero desagua en el borde sudeste de la depresión el arroyo Bebedero, por el norte las cañadas Nogolí-San Jerónimo-Balde y por el noreste el río San Luis (González, 1981). En la actualidad, la cuenca se explota comercialmente por la extracción de sal, la cual se produce por el aporte de las lluvias estacionales de verano que coinciden con el período de mayor evaporación y favorecen la concentración y precipitación de sales en la depresión (González, 1994).

Marco geológico-geomorfológico

Salinas del Bebedero se localiza al oeste de las sierras de San Luis, en el ámbito de la provincia geológica Sierras Pampeanas Orientales (Ramos, 1999). Su localización coincide con el depocentro de la depresión tectónica denominada Cuenca de Beazley cuya evolución se produjo durante el Mesozoico. Se desarrolla además en el extremo austral de la unidad geomorfológica Depresión Longitudinal Central (González Díaz, 1981), unidad tectónicamente activa derivada de la orogenia Andina (Fig. 2), limitada por dos fallas principales (falla de Dos Anclas, falla de Varela) y dos menores (falla de Beazley, falla de la Salina) (González, 1981). En las proximidades de la salina se reconocen distintas unida-

des geológico-geomorfológicas, destacándose hacia el oeste sedimentitas neógenas, al sudoeste un campo de médanos asignados al Pleistoceno y Holoceno y al sur la llanura de inundación del arroyo Bebedero y evidencias de un antiguo cauce o paleocanal.

Salinas del Bebedero es una cuenca endorreica de configuración circular en planta, circundada por sedimentos eólicos, predominantemente loessoides, que muestra un pasaje progresivo entre el material pedemontano distal de grano fino y las acumulaciones de sales con predominio de cloruro de sodio en el sector lacustre propiamente dicho. El relleno sedimentario alcanza al menos 60 m de profundidad (González, 1981). En los sectores occidental y meridional, la salina presenta márgenes altas y abruptas que han sido interpretadas como antiguas líneas de costa de lago, que se habrían desarrollado al menos desde el Último Máximo Glacial (González, 1994).

Marco fisiográfico

En la región predomina un clima semiárido (Burgos y Vidal, 1951), con temperatura media anual de 17,5°C y precipitación media anual de 738,5 mm (estación San Luis,

datos del período 2000–2009, aportados por el Servicio Meteorológico Nacional). La región, bajo la influencia dinámica del anticiclón del Atlántico sur, se caracteriza por un clima subtropical (Prohaska, 1976). Los rangos de precipitación varían desde ~800 mm/a en el sector oriental, próximo al límite de la provincia de San Luis con Córdoba, hasta menos de 300 mm/a al oeste, en el límite con la provincia de Mendoza. La Diagonal Árida Sudamericana —una banda árida con la contribución de humedad más baja de las masas de aire tanto del Atlántico como del Pacífico (Bruniard, 1982)—, se extiende en dirección norte-sur al oeste de la salina. Al oeste de esta banda, la humedad proviene principalmente de las masas de aire del centro anticiclónico del Pacífico y vientos del oeste de latitudes medias, mientras que al este de la misma la humedad está determinada por el ingreso de las masas de aire provenientes del Atlántico, favorecido por la celda

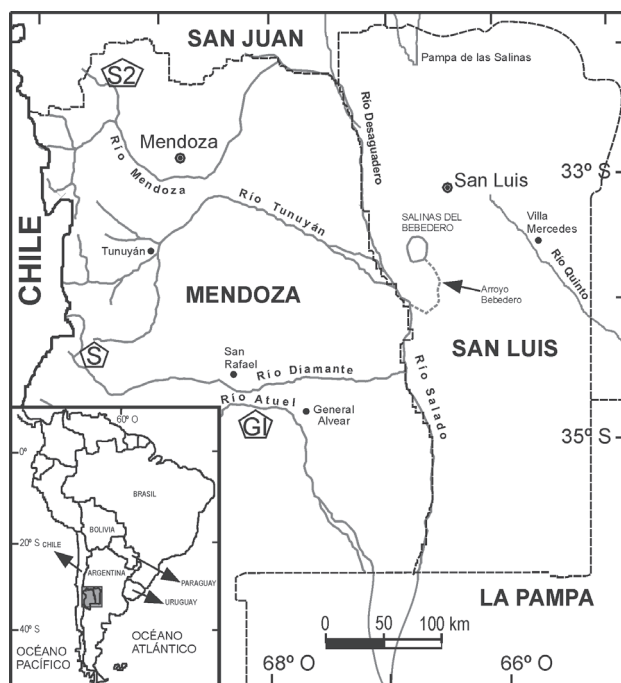


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio y la cuenca salino-lacustre Salinas del Bebedero. Se mencionan los principales sitios fósiles de referencia paleoambiental. Location map of study area and saline basin of Salinas del Bebedero. The referred paleoenvironmentally important fossil localities are indicated: S2, Salina 2; S, Salado; GI, Gruta del Indio (Markgraf, 1983).

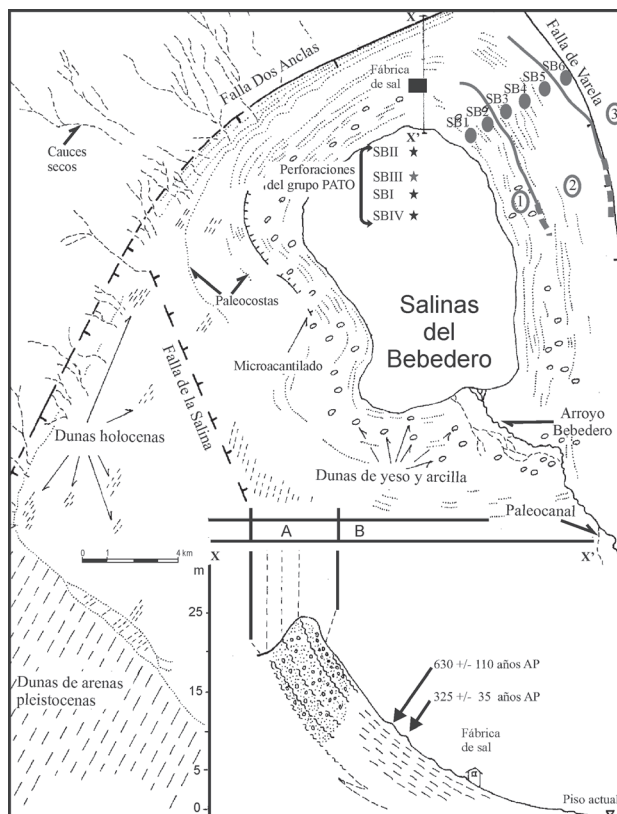


Figura 2. Esquema geomorfológico de Salinas del Bebedero/ *Geomorphic framework of Salinas del bebedero* (adaptado de/ adapted from González, 1994): A-lechos lacustres pleistocenos/Pleistocene lake-beds, B-lechos lacustres holocenos/ Holocene lake-beds. En el sector superior derecho de la figura se indica la ubicación de los muestreos polínicos (SB1–SB6) y las unidades de vegetación/ *Polen sampling sites (SB1–SB6) and vegetation units are shown on upper right sector of figure*: 1- halófitas de zona interna/ internal zone halophytes, 2-halófitas de zona externa/ external zone halophytes, 3-jarillales-algarrobales del Monte-Espinal/ Monte-Espinal *Larrea* shrublands-*Prosopis* woodlands (Peña Zubiarte et al., 1998).

de baja presión del Chaco, que se forma principalmente en verano y que facilita el ingreso de humedad provenientes del sur de Brasil y Bolivia (Prohaska, 1976). Debido a esta configuración de la circulación atmosférica, actualmente Salinas del Bebedero recibe aportes de humedad vinculada principalmente con precipitaciones de verano procedentes del Atlántico. Sin embargo, durante el Pleistoceno tardío y durante el Holoceno, la cuenca habría recibido aportes de agua generados a partir de la fuente de humedad del Pacífico, a través de agua de deshielo de la cordillera de los Andes, recolectada por el sistema fluvial Desaguadero-Salado y el arroyo Bebedero (González, 1994). En la actualidad, este sistema fluvial se encuentra parcialmente desconectado de la salina.

Siguiendo el gradiente de precipitación creciente de oeste a este, la vegetación arbustiva del Monte da paso a la vegetación arbórea del Espinal y el pastizal Pampeano. Salinas del Bebedero se localiza en el sector ecotonal Monte-Espinal, donde la vegetación se extiende hasta sectores próximos a la salina (Fig. 2). La vegetación del Monte, desarrollada en el piedemonte mendocino, al oeste de Salinas del Bebedero, consiste en una estepa arbustiva dominada por el género *Larrea* (Zygophyllaceae), aunque varias especies del género *Prosopis* están presentes formando bosques abiertos en lugares donde existe disponibilidad de agua subterránea (Cabrera, 1976; Villagra *et al.*, 2004). El Espinal, emplazado al este de la salina, está conformado por bosques xerofíticos del género *Prosopis* asociado con otros géneros tales como *Celtis*, *Jodina* y *Acacia*. En las márgenes de la cubeta predominan los matorrales halófitos, principalmente de géneros de quenopodiáceas (*Atriplex*, *Suaeda*, *Heterostachys*, *Allenrolfea*), siendo más abundantes en la zona interna de la misma (Anderson *et al.*, 1970; Peña Zubiate *et al.*, 1998; Roig, 1972).

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo y cronología de la secuencia

La secuencia analizada en Salinas del Bebedero corresponde a la perforación SBIII –con una longitud de 10 m de profundidad (Fig. 2)– realizada con un sistema de perforación a percusión, usando un sacatestigos con un portamuestra de tubo plástico de 1 m de longitud y 4 cm de diámetro. El muestreo para los análisis polínicos y sedimentológicos se realizó mediante la toma de dos muestras cada metro de perforación (aproximadamente 1-2 cm de espesor por muestra), de acuerdo con los cambios litológicos presentes en dicho intervalo (Fig. 3). El análisis granulométrico se llevó a cabo en cada una de las facies clásticas (limosas y arenosas). Se realizaron dos dataciones radiocarbónicas, a partir del conte-

nido de materia orgánica de dos niveles conspicuos presentes en el sedimento, una en la base y la otra en la parte media de la secuencia (Tab. 1); estas edades constituyen el marco de referencia temporal para describir los cambios ambientales inferidos en la secuencia. La ausencia de mayores niveles con materia orgánica a lo largo del registro nos impidió disponer de mayores edades radiocarbónicas y, en consecuencia, de un mejor ajuste cronológico. El registro clástico analizado se encuentra interrumpido por niveles evaporíticos a lo largo de la secuencia analizada.

Procesamiento y microscopía óptica

El análisis sedimentológico consistió en la cuantificación de cloruros, sulfatos y carbonatos (minerales autígenicos o evaporíticos) y clásticos. La determinación cuantitativa de carbonatos (% CaCO_3) se realizó por método gasométrico con calcímetro de Scheibler; considerando a éstos junto a la fracción clástica como parte del residuo insoluble (RI), la fracción clástica se determinó por la diferencia de peso entre el RI y el carbonato cuantificado. Se determinó el Residuo Soluble Inferido (RSI) (sulfatos + cloruros) por medición de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm.}$) del extracto (0,250g

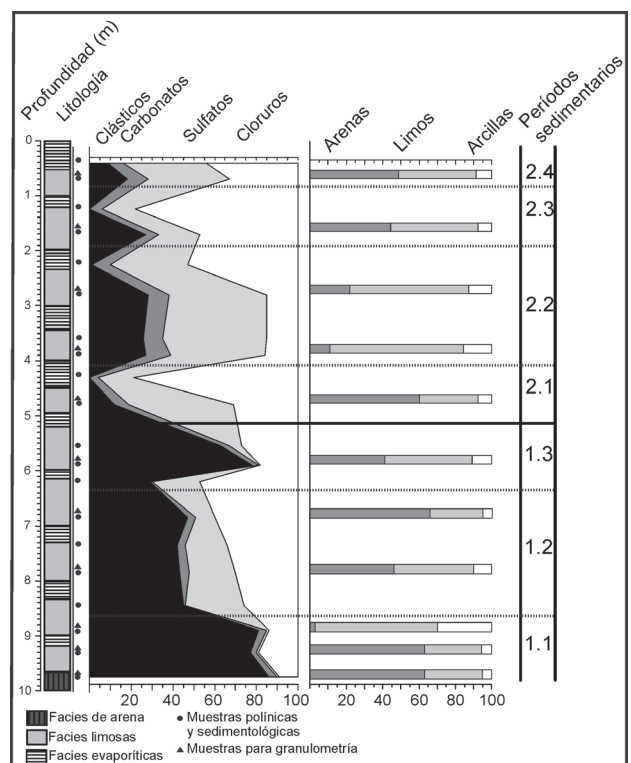


Figura 3. Secuencia estratigráfica Salinas del Bebedero III. Análisis sedimentológico, granulometría de las facies clásticas y periodos sedimentarios/ *Stratigraphic section at Salinas del Bebedero III. Sedimentologic analysis, grain-size of the clastic facies and sedimentary periods.*

de muestra en 100 ml) a 25°C, multiplicada por un factor de corrección de 0,7; este factor se estableció de acuerdo a mediciones realizadas en aguas cloruradas sódicas de las inmediaciones de Salinas del Bebedero. Para la determinación del sulfato de calcio (CaSO_4), primero se extrajo dicha sal mediante precipitación con acetona, centrifugado, decantación y eliminación del sobrenadante, y luego se redisolvió con agua destilada, se midió la conductividad eléctrica y se comparó con una curva patrón. La proporción de cloruro de sodio (NaCl) se estableció por diferencia entre el RSI y la proporción de sulfato cuantificada.

El análisis granulométrico de la fracción clástica se realizó con un contador de partículas láser MasterSizer 2000 (Universidad Nacional de La Pampa) con un rango de detección entre 2000 μm y 0,010 μm .

La extracción de los granos de polen de las muestras obtenidas del testigo se realizó en el Laboratorio de Palinología y Sedimentología del Grupo Yavi de Investigaciones Científicas (Centro Cultural y Museo Pasquini López, Jujuy), con la coordinación de la Dra. Liliana Lupo. El tratamiento incluyó la determinación volumétrica de cada muestra (para el cálculo de la concentración, granos/ml) y el agregado de dos pastillas de *Lycopodium clavatum* ($X=12540$) por muestra. Se realizaron los tratamientos físico-químicos con HCl, KOH, HF, filtrado y acetólisis.

Para la identificación de los tipos polínicos se utilizaron la Palinoteca de Referencia del Laboratorio de Paleoecología y Palinología (UNMDP) y atlas específicos (Markgraf y D'Antoni, 1978; Heusser, 1971; Wingenroth y Heusser, 1984). La identificación y el recuento polínico de las muestras se realizaron con microscopios ópticos Olympus BH-2 y Nikon Eclipse E600, con aumentos máximos de 1000.

Análisis de datos

Los tipos polínicos discriminados se clasificaron de acuerdo con las principales unidades fitogeográficas de la región identificadas a partir de los estudios de vegetación reali-

zados por Roig (1960, 1972, 1982), Anderson *et al.* (1970), Böcher *et al.* (1972), Roig *et al.* (1992, 2000) y Peña Zubiate *et al.* (1998). Los principales grupos identificados son Andino-Patagónico (A-P), Monte (M), Monte-Espinal (M-E) y Espinal (E). Por otro lado, el grupo Hidrófitos (H) incluye taxones hidrófilos y el grupo Otras Hierbas y Arbustos (HA) reúne aquellos tipos polínicos de amplia distribución y/o cuya determinación taxonómica no permite asignarlos a ninguno de los otros grupos. Los grupos Andino-Patagónico y Monte-Espinal incluyen aquellos tipos con géneros presentes en ambas formaciones, respectivamente. Un caso típico es el género *Prosopis*, con especies arbustivas y arbóreas distribuidas tanto en el Monte (principalmente *Prosopis flexuosa*) como en el Monte-Espinal (*Prosopis caldenia*).

En el análisis de los registros polínicos de SBIII se realizaron cálculos de porcentaje y de concentración polínica por volumen (granos/ml) utilizando el programa TGView 2.0.2 (Grimm, 2007); se realizó además un análisis de agrupamiento restringido estratigráficamente, aplicando el coeficiente de disimilitud *Edwards and Cavalli-Sforza's chord distance* (Overpeck *et al.*, 1985) para identificar zonas polínicas.

Las edades radiocarbónicas mencionadas en la discusión, tanto de este trabajo como las de otros registros citados, fueron calibradas mediante software Oxcal 4.1 (Bronk Ramsey, 2001), cuyas edades mayores a 10.000 se realizaron mediante calibración del Hemisferio Norte (IntCal 09) y aquellas menores mediante calibración del Hemisferio Sur (ShCal 04). La expresión de las edades se obtuvo mediante el redondeo de la mediana de cada edad calibrada, por ello en todos los casos se indicó anteponiendo *circa*.

RESULTADOS

Estratigrafía y sedimentología

La columna litoestratigráfica de 10 m de longitud (Fig. 3) se caracteriza por la alternancia de facies clásticas y evaporíticas. En base al predominio de la primera en el sector basal de la sucesión y hasta aproximadamente los 4,5 me-

TABLA 1- Dataciones de la secuencia estudiada/ Dates of the studied section

Secuencia	Edad radiocarbónica (14C años AP)	Edad radiocarbónica calibrada (cal. años AP) con 2 sigma	Mediana (cal AP)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Profundidad (m)	Material datado/Técnica	Nº de laboratorio
	3444 ± 54	(3476-3826)*	3633	-18,5	5,56	Sedimento/AMS	AA81414***
SBIII	10.700 ± 170	(12.103-13.055)**	12.603	-17,6	9,43	Sedimento/AMS	AA81413***

* OxCal 4.1, SHCal 04; **OxCal 4.1, IntCal 09. ***University of Arizona AMS Facility

tros de profundidad, y al aumento leve de la proporción de evaporitas hacia el sector superior, con espesores variables, alcanzando hasta 50 cm de potencia, se puede establecer la existencia de dos períodos sedimentarios conspicuos (Fig. 3) (Rojo *et al.*, 2006).

Desde la base hasta la sección media de la secuencia (4,5 m), predominan las facies clásticas limosas, con espesores que varían entre 10 y 40 cm, y carbonatos (primer período sedimentario). En la base (10–9,70 m) se destaca la presencia del único nivel arenoso de la secuencia. Inmediatamente por encima (9,43 m), el contenido orgánico de un nivel limoso fue datado en 10.700 ± 170 ^{14}C años AP, mientras que a los 5,56 m de profundidad otro nivel arrojó una edad de 3444 ± 54 ^{14}C años AP.

Dentro de este período de sedimentación, en base a indicadores clásticos y de sales se identificaron 3 intervalos: basal (10–8,50 m), intermedio (8,50–6 m) y cuspidal (6–5 m). El primero y el último presentan porcentajes en peso muy altos de materiales clásticos, mayores a 77% y 63%, respectivamente; el intervalo intermedio, contiene porcentajes comparables de clásticos (<54%) y evaporitas –sulfatos y cloruros– (>42%), con un predominio de éstas últimas hacia el tope del intervalo. El análisis textural de la fracción clástica (Tab. 2, Fig. 3), demuestra que en este período dominaron los aportes de limos y arenas, ambos con valores similares (en promedio ~45%), mientras que las arcillas son proporcionalmente muy inferiores (~11%).

El segundo período de sedimentación, evidenciado entre los 5 m de profundidad y el techo del testigo, exhibe un

predominio de evaporitas –sulfatos y cloruros– con valores en general superiores al 65% del volumen total. De acuerdo a las fluctuaciones de las evaporitas, se identificaron 4 intervalos de aproximadamente 1 m de espesor cada uno, excepto el intervalo entre los 4 y 2 m de profundidad que exhibe una potencia de 2 m. En el sector superior de estos intervalos se presentan los porcentajes más altos de las evaporitas (entre el 84 y 96%). El análisis textural de la fracción clástica muestra para este período (Tab. 2, Fig. 3), en promedio, un aumento de los limos (~52%) y una disminución de las arenas (~37%), mientras que las arcillas se mantienen con valores similares a los observados en el sector inferior de la sucesión sedimentaria (~10%).

Registro polínico

Del total de las muestras procesadas, tres resultaron estériles (a los 9,8 m; 6,1 m y 5,9 m de profundidad), en el resto, la suma polínica varió entre 353 y 1555 granos por muestra. Los resultados del estudio polínico (Fig. 4) señalan el predominio de Chenopodiaceae (40–70%), Poaceae (15–30%) y Asteraceae sub. Asteroideae (5–15%) a lo largo del registro. El resto de los taxones arbustivos regionales del Monte, Monte-Espinal y Espinal presentan bajos valores, en general con fluctuaciones menores. El análisis de agrupamiento permitió identificar 5 zonas polínicas.

Zona 1 (9,5–8,70 m). Comprende dos muestras y se caracteriza por presentar los máximos valores de Chenopodiaceae (70%), mientras que Poaceae alcanza el 15% y Asteraceae subf. Asteroideae no supera el 10%. Las trazas de los ele-

TABLA 2 - Granulometría de las 11 facies clásticas del testigo SBIII/ Grain-size of the 11 clastic facies of SBIII core.

Períodos sedimentarios		Profundidad (cm)	Arcilla (0-3,9 μm)		Limos (3,9-62,5 μm)			Arenas (62,5-2000 μm)		
2	2.4	70	8,77	8,77	42,4	42,4		48,82	48,82	
	2.3	170	7,45	7,45	48,37	48,37		44,19	44,19	
		280	12,62	14,09	10,35	65,26	52,38	22,13		37,27
	2.2	390	15,55			73,34	69,30	11,11	16,62	
		480	7,38	7,38		32,54	32,54	60,08	60,08	
1	1.3	590	10,81	10,81		48,05	48,05	41,13	41,13	
		685	4,81	7,47		29,05		66,16		
	1.2	785	10,13		11,03	43,49	36,27	46,37	56,265	
		890	29,79			67,46		41,85	2,76	47,12
	1.1	930	5,54	13,487		31,27	43,51	63,18	43	
		975	5,13			31,8		63,06		

Los valores de arcillas, limos y arenas están expresados en porcentajes de la fracción clástica

mentos arbustivos del Monte-Espinal (*Prosopis*, tipo-*Senna* y tipo-*Capparis*) están presentes sólo en la muestra basal. Los elementos del Espinal (*Celtis* y *Acacia*) alcanzan valores menores al 5%. Las hidrófitas (Cyperaceae y *Typha*) y los extraregionales (*Nothofagus* tipo-*dombeyi* y *Podocarpus*) no superan el 5%. También están presentes algas de agua dulce (*Pediastrum*) y salobres (*Botryococcus*).

Zona 2 (8,7–7,5 m). Incluye dos muestras donde disminuye Chenopodiaceae (45%) y se incrementa levemente Asteraceae subf. Asteroideae (10%), mientras que Poaceae mantiene valores similares a los de la Zona 1. Aparecen los elementos del Monte (*Larrea*) y aumentan los del Monte-Espinal hasta valores del 10% con mayor diversidad (*Prosopis*, *Condalia microphylla*, tipo-*Senna* y tipo-*Capparis*). Los elementos del Espinal (*Celtis*) se incrementan levemente así como las hidrófitas (*Typha*). En “Otras Hierbas y Arbustos”, se destaca *Gomphrena* que alcanza el máximo valor del registro (10%). Entre las algas sólo se presenta *Botryococcus*.

Zona 3 (7,5–5,4 m). Consta de tres muestras donde Chenopodiaceae y Asteraceae subf. Asteroideae mantienen valores similares a la Zona 2 y Poaceae se incrementa hasta valores próximos al 30%. Los elementos arbustivos del Monte (*Larrea*) y Monte-Espinal (*Prosopis*, tipo-*Senna* y tipo-*Capparis*) decrecen a valores inferiores al 5%, y se registran nuevos tipos polínicos como *Cercidium praecox* y *Prosopidastrum glo-*

bosum. Los elementos del Espinal (*Celtis* y *Acacia*) también disminuyen a valores menores al 5% al igual que en la Zona 1. Las hidrófitas mantienen valores similares a la Zona 2. En “Otras Hierbas y Arbustos” sólo se destaca *Lycium*, y entre las algas continúa la presencia única de *Botryococcus*.

Zona 4 (5,4–0,5 m). Chenopodiaceae fluctúa (entre 40 y 60 %) alternadamente con Poaceae (entre 15 y 25 %). Asteraceae subf. Asteroideae y los elementos arbustivos del Monte, Monte-Espinal y Espinal mantienen bajos valores como en la zona 3. Hacia el tope se destaca el incremento de las hidrófitas (*Typha*) con valores mayores al 5%. *Botryococcus* está presente en forma discontinua y desaparece hacia el tope.

Zona 5 (0,35 m). Corresponde a la muestra superior, en la cual se observa la disminución de Chenopodiaceae (40%), mientras que Poaceae (30%) y Asteraceae subf. Asteroideae (10%) mantienen valores similares a la Zona 4. En esta muestra disminuye la diversidad de los elementos arbustivos del Monte (*Larrea*) y Monte-Espinal (*Cercidium praecox* y *Prosopis*), aunque no muestran cambios en las proporciones con respecto a la Zona 4. Entre los elementos del Espinal, se destaca un incremento de *Celtis* (10%). Las hidrófitas (*Typha*) disminuyen a valores menores al 5%.

A lo largo del registro sedimentario la concentración polínica total muestra valores muy fluctuantes, desde <5000 granos/ml en la base hasta c. 65.000 granos/ml en la sección

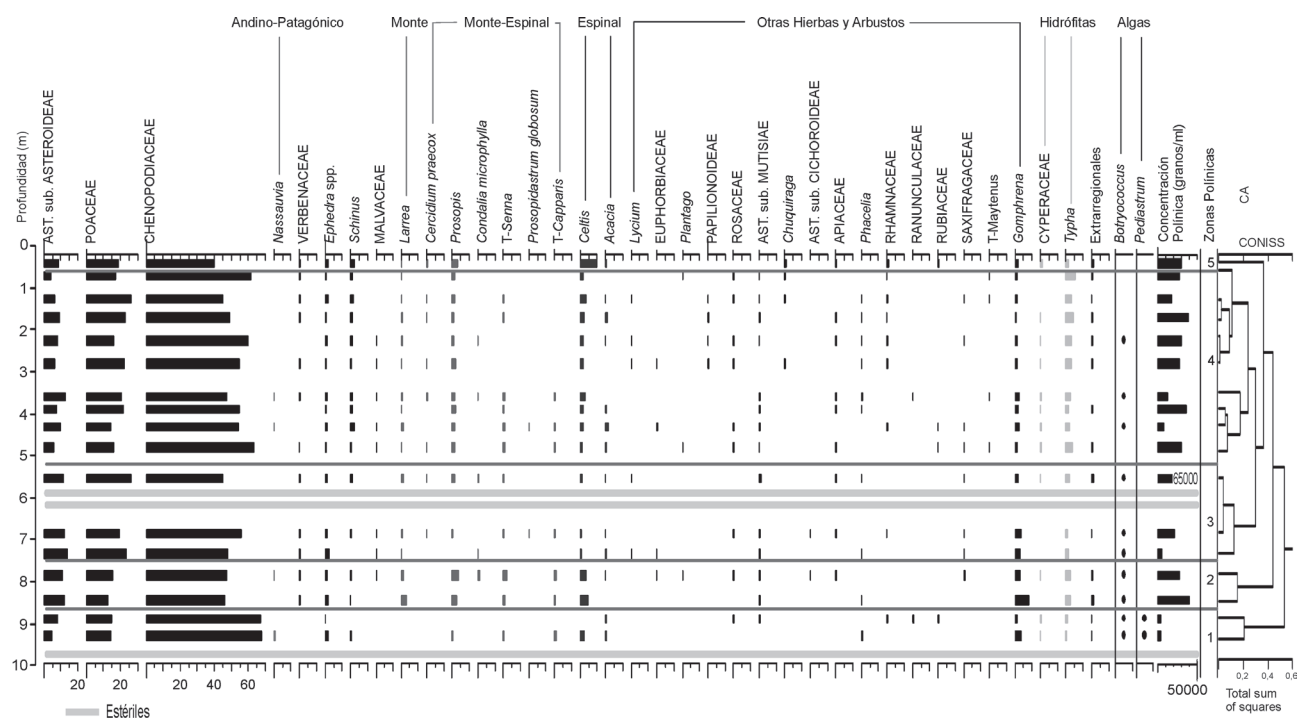


Figura 4. Diagrama polínico y zonación de Salinas del Bebedero III/ Pollen diagram and zonation of Salinas del Bebedero III

media (c. 5,5 m). Entre las Zonas 1 y 2 se evidencia un incremento (<5000 a 40.000 granos/ml), mientras que se distingue una disminución en la Zona 3, pero con un aumento hacia su parte superior alcanzando el máximo valor del registro (65.000 granos/ml). En la Zona 4 la concentración de granos de polen fluctúa entre 10.000 a 30.000 granos/ml, alcanzando en la Zona 5 hasta c. 30.000 granos/ml.

DISCUSIÓN

La secuencia de Salinas del Bebedero (SBIII) comprende depósitos de naturaleza clástica y evaporítica de ambiente lacustre, donde alternan niveles de arena, limos y evaporitas. Estas características de los depósitos se relacionan con el balance existente entre los aportes de agua a la cuenca y la tasa de evaporación. El predominio de elevados valores de materiales clásticos (con porcentajes equivalentes de arenas y limos, Tab. 2) en el período sedimentario basal se vincularía con un mayor aporte/disponibilidad de agua y por lo tanto, con niveles lacustres más altos que en el período sedimentario subsecuente, donde el aumento de las proporciones de las facies evaporíticas en detrimento de las proporciones de materiales clásticos (con mayores porcentajes de limo respecto de las arenas) se relacionaría con menores aportes/disponibilidad de agua y/o alta evaporación que habrían generado niveles lacustres relativos más bajos.

El registro polínico presenta pocas variaciones en las asociaciones a lo largo de la secuencia. Se caracteriza por el predominio de Chenopodiaceae, Poaceae y Asteraceae subf. Asteroideae, asociados con los elementos arbustivos del Monte, Monte-Espinal y Espinal, que no superan el 20% en conjunto. A partir de la comparación con los registros actuales locales y regionales (Fig. 5), se observa que los espectros fósiles presentan similitudes estrechas con los espectros locales vinculados a las márgenes de la salina y con los regionales de los sectores bajos del área de la Cuenca de Beazley. Estas analogías permiten interpretar las asociaciones fósiles en términos de la vegetación ecotonal Monte-Espinal que se desarrolla actualmente en el área.

En relación con la concentración polínica, los valores más bajos de la secuencia se registran en la sección basal (zona 1), que podrían vincularse con una baja producción de polen y/o con una baja cobertura de la vegetación. Los niveles estériles a 9,8 m (facies de arena), 6,1 m (facies evaporíticas) y 5,9 m (facies limosas) podrían relacionarse con las mismas causas de baja concentración polínica y/o con problemas de preservación debido a repetidos eventos de desecación. En el resto de la sucesión sedimentaria, la concentración polí-

nica fluctúa entre <5000 y 30.000 granos/ml en las facies evaporíticas, y entre <5000 y 65.000 granos/ml en las facies clásticas. Estos valores sugieren que las evaporitas tienden a provocar una menor preservación de los granos de polen, como se ha sugerido en general para este tipo de depósitos sedimentarios (Campbell y Campbell, 1994).

Condiciones paleoambientales en Salinas del Bebedero

A partir del análisis de los taxones dominantes y de los grupos polínicos en combinación con las características sedi-

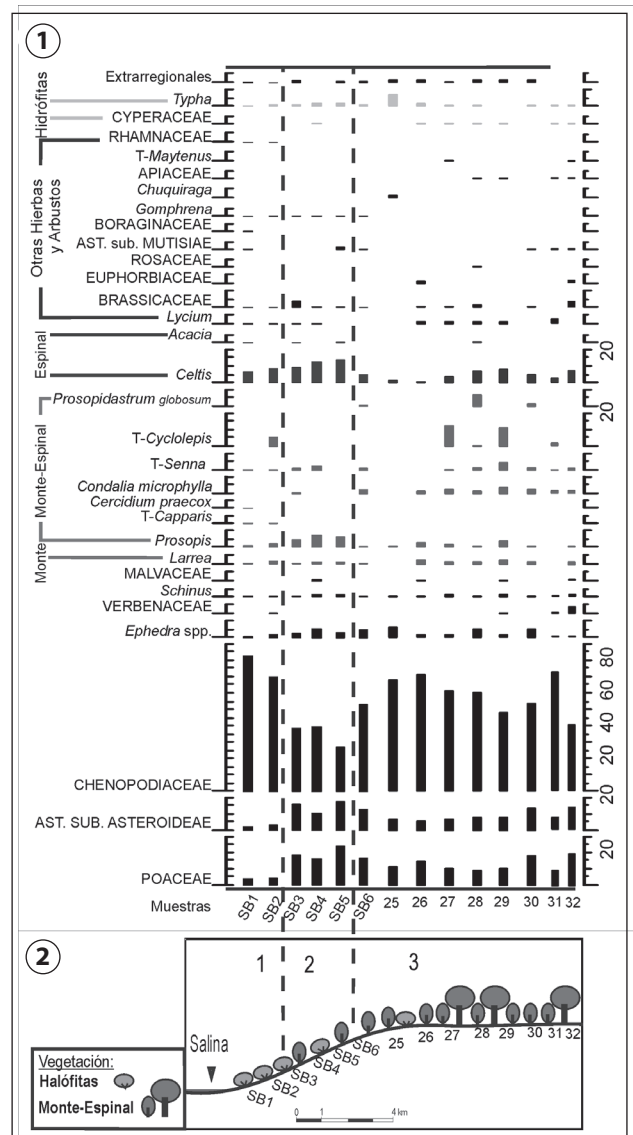


Figura 5. 1, Diagrama polínico de muestreo local y regional próximo a Salinas del Bebedero/ *Pollen diagram of local and regional samplings near Salinas del Bebedero*; **2,** Esquema de la vegetación desde las márgenes de la salina hacia la cuenca de Beazley/ *Distribution of vegetation between the edge of the lake and the Beazley Basin*. *Ver Figura 2 para referencias de unidades de vegetación de 1 a 3/ *See Figure 2 for references of vegetation units 1 to 3*.

mentológicas que exhibe el registro, se interpretó la tendencia general de los cambios ambientales durante los últimos *c.* 12.600 cal. años AP. En términos generales, la alternancia entre facies limo-arenosas y limosas y evaporitas y la dominancia de *Chenopodiaceae* a lo largo de toda la secuencia permiten inferir que la cuenca, aunque ha sufrido fluctuaciones en los niveles del cuerpo lacustre, ha permanecido dentro de un ambiente salino. Esto es concordante con la evidencia sobre la reconstrucción de la salinidad realizada a través de los carófitos (García, 1999), que indica que Salinas del Bebedero ha sido una cuenca salina desde el Pleistoceno tardío.

Alrededor de los 12.600 cal. años AP (Fig. 6), correspondiente al intervalo basal del primer período sedimentario, los máximos valores de materiales clásticos asociados con el único nivel de arena identificado en la secuencia sugiere el desarrollo de un nivel lacustre mayor. La presencia de *Pediastrum* (algas de agua dulce) y *Botryococcus*, que indican las condiciones de salinidad más bajas del registro, apoyan dicha inferencia para el lapso involucrado. El registro polínico presenta en este intervalo los valores máximos de *Chenopodiaceae*, asociados con una baja representación de los taxones arbustivos regionales del Monte-Espinal y Espinal; estos espectros son similares a las comunidades halófitas que se desarrollan en la actualidad en el sector más interno de la

salina. La vegetación ecotonal Monte-Espinal para este lapso probablemente refleje condiciones de mayor aridez relativa respecto al presente con una menor cobertura de vegetación y/o producción polínica evidenciado por los valores bajos de concentración polínica.

Posterior a los *c.* 12.600 cal. años AP, y hasta *c.* 3600 cal. años AP (Fig. 6), correspondiente a los intervalos intermedio y cuspidal del primer período sedimentario, el aumento de los valores de sulfatos y cloruros y la concomitante disminución de los materiales clásticos reflejarían un descenso del nivel lacustre en coincidencia con la desaparición de las algas del género *Pediastrum* y disminución de la frecuencia del género *Botryococcus*. El registro polínico se asocia con una disminución de *Chenopodiaceae*, aumento de los elementos del Monte-Espinal y Espinal y la aparición de los elementos del Monte, que en conjunto evidencian una mayor representación de la vegetación ecotonal Monte-Espinal que el período anterior. Estos espectros son similares a los espectros actuales provenientes de las comunidades arbustivas del ecotono Monte-Espinal observados en los sectores bajos del área de la Cuenca de Beazley, próximos a la salina. El leve incremento en los materiales clásticos del intervalo cuspidal, previo a los *c.* 3600 cal. años AP, podría indicar la ocurrencia de un nuevo nivel lacustre mayor, aunque de menor magnitud

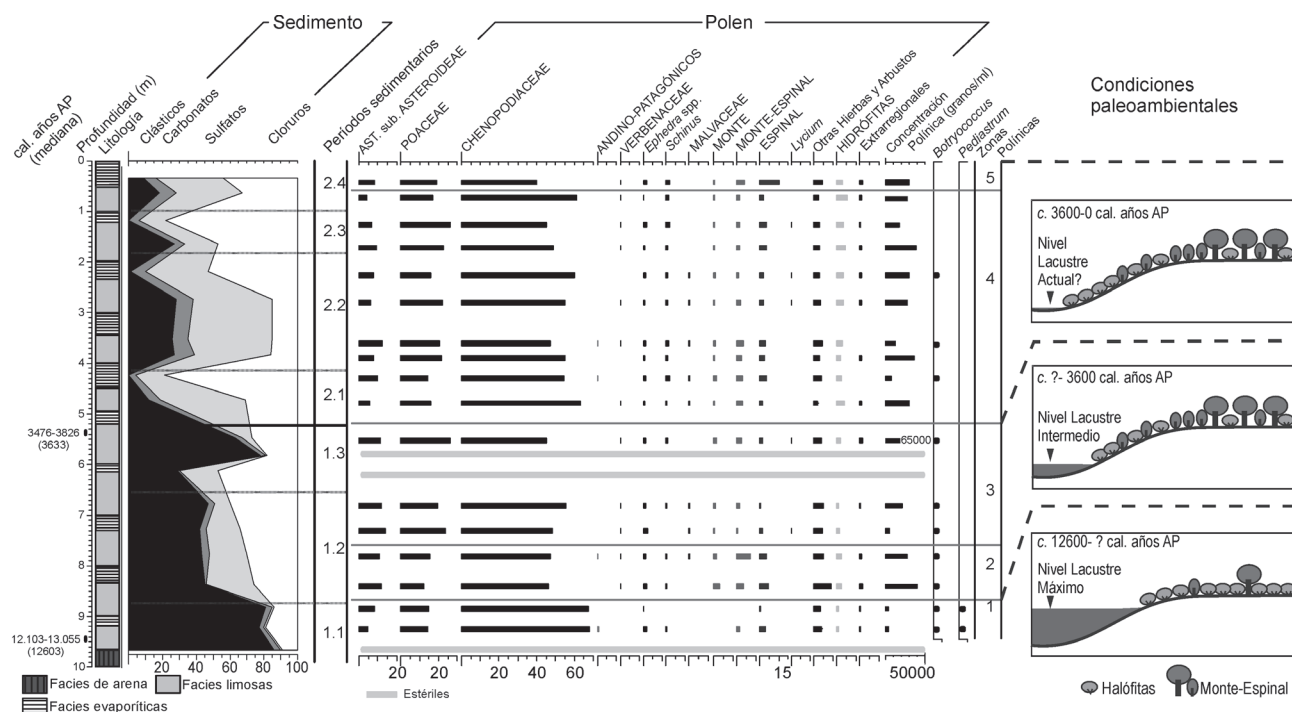


Figura 6. Secuencia estratigráfica, períodos sedimentarios, diagrama polínico y zonación de los principales taxa y grupos polínicos de Salinas del Bebedero III. Esquemas de las condiciones paleoambientales de los últimos *c.* 11000 años AP/ *Stratigraphic section, sedimentary periods, pollen diagram and zonation of the main taxa and pollen groups at Salinas del Bebedero III. Paleoenvironmental conditions of the last c. 11,000 years BP.*

relativa que el del intervalo *c.* 12.600 cal. años AP. Asociado a este intervalo se registran dos muestras estériles, que probablemente se asocien con malas condiciones de preservación y/o baja producción polínica debido a condiciones de aridez.

Figura 6 (Secuencia estratigráfica y períodos sedimentarios. Diagrama polínico y zonación. Condiciones paleoambientales)

A partir de los *c.* 3600 cal. años AP (Fig. 6), que corresponde al segundo período sedimentario, la mayor frecuencia de las facies evaporíticas vinculadas con el fuerte aumento en las proporciones de sulfatos y cloruros indicarían niveles lacustres menores que en el período anterior y el desarrollo temporario del cuerpo de agua, en condiciones similares a las que se desarrollan actualmente en la cuenca. La menor frecuencia de *Botryococcus* y su desaparición hacia el tope se vincularía con esta disminución de agua en la cuenca. El registro polínico no muestra cambios para este lapso y refleja una vegetación ecotonal Monte-Espinal similar al período previo. El incremento de las hidrófitas (hasta el 10%) se vincularía con un mayor desarrollo de comunidades de *Typha* y ciperáceas probablemente debido a un aumento, respecto del período previo, en la frecuencia de desarrollo de cuerpos de agua dulce estancados próximos a la salina. Un análogo actual en el área son los cuerpos de agua asociados al curso efímero del arroyo Bebedero, donde se observa el desarrollo de esas comunidades de hidrófitas.

Los elementos extrarregionales, *Nothofagus* tipo-*dombeyi* y *Podocarpus*, están expresados en bajas proporciones y sin mayores cambios a lo largo del registro; evidencian el aporte constante de polen proveniente de los bosques de *Nothofa-*

gus emplazados a ambos lados de la Cordillera de los Andes, hasta los *c.* 33°S en la ladera occidental y hasta *c.* 37°S en la ladera oriental (Veblen *et al.*, 1996).

Integración y comparación con el testigo SBIV

Con el objetivo de corroborar la tendencia observada en SBIII, se correlacionó la información obtenida con los datos proporcionados por González *et al.* (1998) sobre el registro sedimentológico y polínico del testigo SBIV; una datación de 2100 ± 85 ¹⁴C años AP (*c.* 2000 cal. años AP) a 4,85 m de profundidad se obtuvo para dicho testigo (Markgraf, comunicación personal).

Ambos testigos abarcan alrededor de 10 m de profundidad, aunque el escaso control cronológico sólo permite realizar una comparación detallada de los últimos *c.* 2000 cal. años AP en ambos registros. Los datos obtenidos en SBIV muestran que dicho intervalo abarca aproximadamente 5 m de depósitos de naturaleza clástica-evaporítica de ambiente lacustre, con el predominio de capas de evaporitas alternando con finas capas compuestas por arcillas y/o limos (González *et al.*, 1998). La alternancia de dichos niveles en los depósitos es similar a la observada en el testigo SBIII, aunque el intervalo en esta última secuencia exhibe menor potencia (~3,4 m) y menor frecuencia de desarrollo de niveles evaporíticos. González *et al.* (1998) señalaron que el registro polínico de SBIV exhibe fluctuaciones leves en la secuencia. Para una comparación ajustada, por un lado se reagruparon los taxones presentes en el testigo SBIV de acuerdo con el criterio utilizado en SBIII. Por otro lado, Chenopodiaceae fue excluido de las sumas totales de cada registro para acentuar

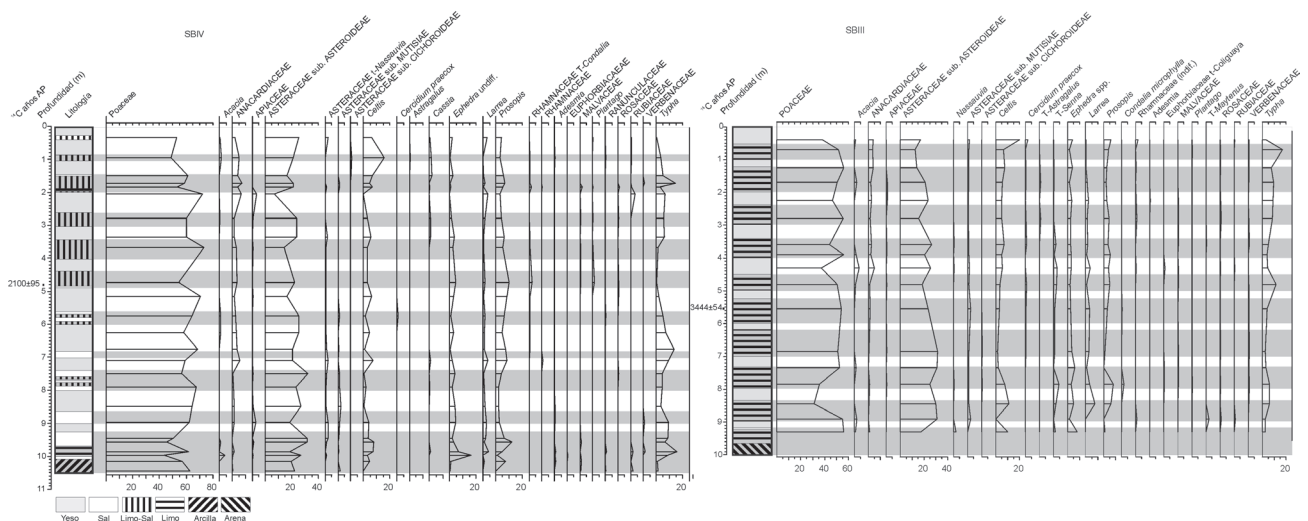


Figura 7. Comparación del registro polínico y sedimentológico entre SBIV y SBIII, en particular para los últimos *c.* 2000 cal. años AP/ Compared pollen records of SBIV and SBIII, particularly for the last *c.* 2000 cal. years BP.

las fluctuaciones de las proporciones del resto de los taxones, debido a que este taxón domina ambos registros con valores que superan el 60%. A partir de este reordenamiento se observaron similares tendencias de los taxones con fluctuaciones menores, caracterizados por la dominancia de Poaceae y Asteraceae subf. Asteroideae, asociado con bajos valores de los elementos del Monte (*Larrea*), del Monte-Espinal (*Prosopis*, *Cercidium praecox*, *Condalia microphylla*, *Cassia*=tipo-*Senna*) y del Espinal (*Celtis* y *Acacia*) (Fig. 7). De modo que, en general, la composición polínica y las proporciones de los taxones observados en SBIV comparten alta similitud con los registros de SBIII, lo que permite corroborar la tendencia en esta última secuencia. Las diferencias menores entre la estratigrafía de ambas secuencias se deberían a la ubicación relativa de los testigos en la cuenca (SBIV más hacia el centro; ver Fig. 2).

Sobre la base del registro de diatomeas, estratigráfico y polínico, González *et al.* (1998) señalaron que para el intervalo considerado en SBIV de *ca.* 2000 cal. años AP, se habrían producido inundaciones periódicas seguidas por períodos secos, que favorecieron la precipitación de las evaporitas, y el desarrollo hacia las condiciones semiáridas actuales caracterizadas por el predominio de lluvias de verano. Considerando la similitud de los registros estratigráficos y polínicos y las edades de la sucesión SBIII, estas condiciones en Salinas del Bebedero podrían ser extensivas a los últimos *c.* 3600 cal. años AP.

Implicancias paleoambientales

La primera interpretación paleoambiental regional del Pleistoceno tardío y Holoceno, en particular la reconstrucción de la historia de la vegetación para la región centro-oeste de Argentina, ha sido elaborada por D'Antoni (1983) a partir del registro polínico del sitio arqueológico Gruta del Indio (35°S). Luego, Markgraf (1983) analizó el registro polínico de dos vegas localizadas en la cordillera de los Andes, Salina 2 en el valle de Uspallata (32°S) y Salado en la cuenca superior del río Atuel (35°S), y a partir de estos tres registros (Fig. 1), propuso un esquema cronológico de los cambios en la distribución de la vegetación regional durante los últimos *c.* 12.000 ¹⁴C años AP de Mendoza. En dicho esquema, la autora propuso el desarrollo de una estepa graminosa de afinidad florística Patagónica previo a los *c.* 13.900 cal. años AP (12.000 ¹⁴C años AP) en el piedemonte, relacionado con un patrón de lluvias de invierno. Con posterioridad a *c.* 11.500 cal. años AP (*c.* 10.000 ¹⁴C años AP), se habría establecido la vegetación arbustiva del Monte, asociada con un patrón

de lluvias de verano; desde *c.* 9500 cal. años AP (*c.* 8500 ¹⁴C años AP), verifica una mayor reducción de las precipitaciones; y a partir de *c.* 5700 cal. años AP (*c.* 5000 ¹⁴C años AP), un incremento en el caudal fluvial cordillerano producto de mayores precipitaciones de invierno en la alta cordillera, procedentes de las masas de aire del Pacífico. Las condiciones ambientales y comunidades vegetales actuales habrían comenzado a desarrollarse *c.* 3100 cal. años AP (*c.* 3000 ¹⁴C años AP) (Markgraf, 1983). Posteriormente a este esquema, las contribuciones sobre la reconstrucción paleoambiental se han efectuado a partir de registros de diferentes ambientes sedimentarios, tales como turberas, sucesiones aluviales y sitios arqueológicos, y para acotadas ventanas temporales, las cuales han sido sintetizadas por Zárate (2002) y Paez *et al.* (2010). Entre los resultados más destacables de estas nuevas contribuciones, Zárate (2002) señaló que las condiciones ambientales durante el Tardiglacial (17.100–11.500 cal. años AP; 14.000–10.000 ¹⁴C años AP) se caracterizarían por temperaturas más altas que durante el Último Máximo Glacial, pero aún más frías que las actuales, con mayor caudal en los cursos de los ríos alimentados por la combinación de las lluvias en cordillera y los deshielos de los glaciares. Evidencia polínica entre los *c.* 12.900 y 10.400 cal. años AP (*c.* 11.000 y 10.000 ¹⁴C años AP) muestra el predominio de comunidades halófitas (Chenopodiaceae) en sucesiones aluviales del piedemonte (–33°S) que se relacionarían con condiciones climáticas áridas extremas (Zárate y Paez, 2002) y el desarrollo de estepas graminosas con cojines en la Precordillera de Mendoza (–32°S) que reflejarían condiciones áridas y con bajas temperaturas en montaña (García *et al.*, 1999). Estas nuevas evidencias serían concordantes con el esquema original (Markgraf, 1983), vinculado con el desarrollo de la vegetación Patagónica en el piedemonte. Para el Holoceno temprano (11.500–8800 cal. años AP; 10.000–8000 ¹⁴C años AP) y en particular el Holoceno medio (8800–4400 cal. años AP; 8000–4000 ¹⁴C años AP) nueva evidencia y/o registros son escasos y señalan condiciones ambientales locales en los ambientes sedimentarios (Paez *et al.*, 2010). Además, en el sitio arqueológico Gruta del Indio, considerado como un registro continuo para estos lapsos, Zárate (2002) y Gil *et al.* (2005) indicaron que existiría un *hiatus* estratigráfico entre los 8800 y 4400 cal. años AP (8000 y 4000 ¹⁴C años AP), lo que implica la ausencia de información de vegetación y paleoclima para este rango temporal. Los nuevos registros para el Holoceno tardío, provenientes de sucesiones aluviales y vegas (Rojo *et al.*, 2012; Navarro y Whitlock, 2010; Navarro *et al.*, 2010), evidencian variaciones locales de la ve-

getación (Paez *et al.*, 2010) y sugieren mayor disponibilidad de agua en los sistemas fluviales entre los *c.* 5700 y 3100 cal. años AP (*c.* 5000 y 3000 ¹⁴C años AP) (Rojo *et al.*, 2010), coincidente con lo propuesto por Markgraf (1983). En síntesis, los nuevos aportes paleoambientales han corroborado en general la tendencia de cambios del esquema cronológico propuesto por Markgraf (1983), excepto para las ventanas temporales del Holoceno temprano y medio, donde se destaca la ausencia de evidencias que registren las condiciones paleoambientales regionales.

En relación con las inferencias paleoambientales de Salinas del Bebedero (SBIII), el nivel lacustre elevado *c.* 12.600 cal. años AP, sugerido por el registro sedimentológico, coincide parcialmente con las inferencias provenientes de los registros geomorfológicos y de diatomeas del paleocanal localizados al sudeste de la salina (ver Fig. 2), que evidencian niveles lacustres altos entre los *c.* 13.500 y 10.100 cal. años AP (*c.* 11.000 y 10.000 ¹⁴C años AP, atribuidos como consecuencia de una combinación del aporte fluvial a través del río Desaguadero y de la humedad procedente del Atlántico en forma de lluvias de verano (González, 1994; González y Maidana, 1998). Durante este lapso, la condición más árida sugerida por el mayor desarrollo de comunidades halófitas y las bajas proporciones de la vegetación regional del ecotono Monte-Espinal podría ser el resultado de una reducción en las precipitaciones y/o un aumento de la temperatura. Por consiguiente, de haber existido menores precipitaciones en el área que explican una vegetación árida, los mayores niveles lacustres en la cuenca para este período se deberían esencialmente al aporte fluvial procedente del sistema Desaguadero-Salado y alimentado en alta montaña. Estas inferencias parecen estar sustentadas tanto por las evidencias del sector mendocino (Markgraf, 1983; Zárate, 2002) como del sector chileno a la misma latitud y Patagonia Norte. En la región de Chile Central, registros paleoclimáticos de la laguna Tagua-Tagua (*~*34°S) (Heusser, 1983, 1990) y bosques de pantano de la costa chilena (*~*32–33°S) (Villagrán y Varela, 1990), evidencian condiciones más húmedas que las actuales para el Tardiglacial, al igual que el registro de la laguna Cari Laufquen Chica de Patagonia Norte (*~*40°S), donde habría predominado una vegetación de afinidad Patagónica que se vincularía con temperaturas más frías y mayores precipitaciones que las actuales (Schäbitz, 2003). En ambas regiones, los autores sugieren para este lapso una localización más septentrional de la faja de vientos del oeste (*westerlies*) respecto de su posición actual, que habrían sido los responsables del aporte de humedad. En consecuencia, habría un mayor aporte de agua al sis-

tema fluvial cordillerano que generó los niveles lacustres altos en Salinas del Bebedero. La aridez inferida a partir del registro polínico analizado en la cuenca podría deberse a la mayor influencia de estos vientos, que llegarían a la región con más frecuencia y sin humedad, a la vez que habrían bloqueado el ingreso de la fuente de humedad desde el Atlántico. Sin embargo, es importante resaltar que este escenario paleoclimático de condiciones más húmedas no es compartido por Markgraf *et al.* (2000), quienes sugirieron que, en el sur de América del Sur, durante el Último Máximo Glacial y Tardiglacial la humedad provendría del suroeste del Atlántico, relacionado con las masas de frentes polares originados sobre una Antártida muy fría, lo cual habría producido un balance hidrológico positivo para los sistemas lacustres entre los 30°S y 41°S. De similar modo, Markgraf (*et al.*, 2008) indicaron a partir de la reconstrucción de la historia de la vegetación y fuego del Tardiglacial en Mallín Vaca Lauquen, localizado al norte de Neuquén (*~*37°S), que los vientos del oeste habrían sido más débiles que en la actualidad.

Mientras que los niveles lacustres habrían disminuido posterior a los *c.* 12.600 cal. años AP y hasta *c.* 3600 ¹⁴C años AP alcanzando niveles inferiores a los del período previo, aunque aún mayores al actual, en el paleocanal durante el lapso *c.* 10.100–9500 cal. (*c.* 9000–8500 ¹⁴C años AP) se registraron condiciones subaéreas y la restricción de ingreso de agua fluvial manifestado por la ausencia de diatomeas (González y Maidana, 1998). Aunque para este lapso los niveles habrían sido mayores a los actuales en la cuenca, no habrían alcanzado la extensión suficiente para llegar a la posición del actual paleocanal (Fig. 2). Dado que el aporte fluvial desde la cordillera no sería tan importante comparado con el período previo (Zárate, 2002), los niveles lacustres podrían ser consecuencia principalmente de la ocurrencia de lluvias estacionales, sugiriendo condiciones más húmedas que las actuales debido a mayor influencia del Atlántico en el área. La reaparición de diatomeas meso- a polihalinas en el paleocanal en un momento posterior a los *c.* 9500 cal. años AP hasta otro momento no precisado cronológicamente (González y Maidana, 1998), indicaría aumento de los niveles lacustres por ingreso de agua fluvial a la cuenca a través del sistema Desaguadero-Salado, aunque menores al período de la transición Pleistoceno/Holoceno *c.* 12.600 cal. años AP. Este aumento podría ser equivalente al aumento leve de los valores clásicos observado previo a los *c.* 3600 cal. años AP (5,9 y 5,5 m de profundidad) del testigo SBIII (Fig. 4). De corroborarse este incremento en la cuenca, sería sincrónico parcialmente con el aumento del caudal de los sistemas flu-

viales inferidos en Mendoza para los 5700–3100 cal. años AP (Markgraf, 1983; Rojo *et al.*, 2012; Navarro y Whitlock, 2010; Navarro *et al.*, 2010).

Por su parte, desde algún momento posterior a los 12.600 cal. años AP (transición Pleistoceno/Holoceno?) y hasta el presente, el predominio de halófitas y comunidades del Monte-Espinal comparables a la vegetación que se desarrolla actualmente en el área, sugiere que la vegetación regional Monte-Espinal habría sido estable para la mayor parte del Holoceno y no habría sido afectada por variaciones hidrológicas en Salinas del Bebedero. Aunque la escasa evidencia del sector mendocino se restringe a los ambientes locales (Zárate, 2002; Paez *et al.*, 2010), similares resultados se han obtenido a partir de los registros polínicos de otras salinas localizadas en el noreste de Patagonia, Salina Piedra (~40°S) y Salina Anzoátegui (~39°S) (Schäbitz, 1994), en un ambiente actual de Monte-Espinal similar al de Salinas del Bebedero. Estas cuencas salinas habrían registrado, para los últimos *c.* 7400 cal. años AP, fluctuaciones de las comunidades halófitas desarrolladas en los bordes internos de las cuencas en combinación con variaciones en sus niveles lacustres, en un ambiente estable de vegetación regional del Espinal.

Las escasas evidencias para el Holoceno temprano y medio en la región centro-oeste de Argentina (Zárate, 2002; Paez *et al.*, 2010) son un aspecto llamativo de la reconstrucción paleoambiental. A escala continental, se ha postulado que durante el Holoceno medio habría ocurrido un incremento en la aridez (Grimm *et al.*, 2001), hipótesis que aún no se ha podido corroborar en la región. Paez *et al.* (2010) sugirieron como hipótesis de trabajo que durante el hipotético incremento de aridez del Holoceno medio, en Mendoza no se habría modificado la vegetación regional del Monte y que los cambios se habrían producido particularmente en las comunidades locales asociadas a los sistemas fluviales en el piedemonte cordillerano y en las comunidades de vegas en los ambientes montañosos. La estabilidad que muestra la estructura de la vegetación ecotonal Monte-Espinal en Salinas del Bebedero concuerda con esta hipótesis de trabajo para el sector más oriental del Monte a esta latitud y está sustentada por las evidencias aportadas por las salinas del noreste patagónico (Schäbitz, 1994). Otros estudios polínicos realizados en paleomadrigueras del cerro Cacheuta (~32°S), Precordillera de Mendoza, también sugieren estabilidad del Monte a lo largo del Holoceno (Betancourt y Saavedra, 2002). El balance hidrológico en Salinas del Bebedero sugiere incluso que, durante el Holoceno temprano y medio, las condiciones en el área habrían sido ligeramente más húmedas que las ac-

tuales a causa del aporte de las lluvias estacionales de verano y/o el aporte de agua de deshielo a través del sistema fluvial Desaguadero-Salado.

A partir de los *c.* 3600 cal. años AP y hasta el presente, se habrían establecido las condiciones hidrológicas similares a las actuales, con la formación de cuerpos de agua estacionales a partir del aporte de lluvias de verano (González *et al.*, 1998), coincidente parcialmente con el esquema general propuesto por Markgraf (1983) en relación con el establecimiento de las condiciones climáticas actuales en Mendoza *c.* 3100 cal. años AP. Respecto a la vegetación, sólo habrían ocurrido fluctuaciones menores en las comunidades halófitas del borde de la salina en respuesta a las variaciones hidrológicas.

CONSIDERACIONES FINALES

El registro polínico y sedimentológico del testigo SBIII que abarca los últimos *c.* 12.600 cal. años AP sugiere que el régimen hidrológico de Salinas del Bebedero habría experimentado un descenso progresivo de sus niveles lacustres hasta alcanzar cotas similares a las actuales alrededor de los 3600 cal. años AP. No obstante, estas variaciones se habrían producido siempre en un contexto de ambiente salino. Por su parte, la vegetación regional habría mostrado un cambio significativo en un momento posterior a los 12.600 cal. años AP, probablemente durante la transición Pleistoceno tardío/Holoceno temprano?, con el paso de una vegetación ecotonal Monte-Espinal con mayor desarrollo de comunidades halófitas hacia una vegetación Monte-Espinal similar a la actual. Durante el Holoceno, la vegetación regional no habría sido afectada por las variaciones hidrológicas en la cuenca y sólo habrían ocurrido fluctuaciones menores en las comunidades halófitas del borde de la salina en respuesta a las fluctuaciones en el desarrollo de los cuerpos de agua estacionales, particularmente a partir de los *c.* 3600 cal. años AP.

Las condiciones paleoambientales inferidas a partir de los resultados del análisis del testigo SBIII permiten mejorar la información en relación con las condiciones paleoambientales durante aproximadamente los últimos 12.600 cal. años AP, en particular para ciertos ventanas temporales del Holoceno. De este modo se ha contribuido a ampliar el esquema cronológico paleoambiental de la región centro-oeste de Argentina durante el Pleistoceno final y Holoceno a partir del análisis de registros lacustres de regiones áridas. Sin embargo, es importante resaltar que aún existe la dificultad de elaborar esquemas cronológicos regionales precisos de los principales eventos paleoambientales durante el Pleistoceno tardío y Holoceno, debido a que los registros son aun escasos, discon-

tinuos y con baja resolución cronológica (Paez *et al.*, 2010; Zárate *et al.*, 2010).

Es importante la corroboración a futuro de las condiciones paleoambientales en Salinas del Bebedero y de la hipótesis sobre la aridez del Holoceno medio (Grimm *et al.*, 2001), teniendo en cuenta que prácticamente no se dispone de otras evidencias de las condiciones paleoambientales en la región para este lapso. La aridez del Holoceno medio es además un tema de debate actual para la arqueología de la región centro-oeste de Argentina (Zárate *et al.*, 2010). El registro arqueológico refleja un cambio en las estrategias humanas, probablemente por abandono de sitios o cambios en el patrón de asentamientos (Gil *et al.*, 2009; Neme y Gil, 2009); aunque se desconocen aún sus causas, se ha atribuido en forma tentativa a la hipotética extrema aridez que habría caracterizado el Holoceno medio (Grimm *et al.*, 2001). Tanto el registro polínico y sedimentológico de Salinas del Bebedero como de las cuencas salinas del noreste patagónico, no apoyan la hipótesis del incremento de aridez del Holoceno sugerida a escala continental. El registro sedimentológico sugiere incluso condiciones probablemente más húmedas, derivadas de una mayor influencia del anticiclón del Atlántico sur en el área. Por ello, se necesitan nuevos estudios que focalicen en particular el problema de la ausencia de registro del Holoceno medio.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo es parte del proyecto de tesis doctoral llevado a cabo por el primer autor mediante una beca del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Los autores agradecen a CONICET, Universidad Nacional de San Luis y Universidad Nacional de Mar del Plata por el apoyo económico para este estudio (UNMdP-EXA 275/03; PICT 05 42345; UNSL-PRO 01CO 340203). También desean agradecer a los revisores anónimos y C. Laprida, quienes aportaron comentarios y sugerencias que mejoraron notablemente este trabajo. El primer autor agradece particularmente a L. Lupo por el procesamiento palinológico de las muestras, a M. Zárate por el análisis granulométrico y a A. Mehl por la revisión de la primera versión del manuscrito.

REFERENCIAS

- Anderson, D.L., Del Aguila, J.A. y Bernardon, A.E. 1970. Las formaciones vegetales en la provincia de San Luis. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (INTA)* 7: 153–183.
- Betancourt, J.L. y Saavedra, B. 2002. Nuevo método paleoecológico para el estudio de zonas áridas en Sudamérica: paleomadrugueras de roedores. *Revista Chilena de Historia Natural* 75: 527–546.
- Böcher, T.W., Hjerting, J.P. y Rahn, K. 1972. Botanical studies in the Atuel Valley area, Mendoza province, Argentina. Part. III. *Dansk Botanisk Arkiv* 22: 195–358.
- Bronk Ramsey, C. 2001. Development of the radiocarbon calibration program OxCal. *Radiocarbon* 43: 355–363.
- Bruniard, E.D. 1982. La diagonal árida argentina: un límite climático real. *Revista Geográfica* 95: 5–19.
- Burgos J.J. y Vidal, A.L. 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornwaite. *Meteoros* 1: 1–32.
- Cabrera, A.L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. En: W.F. Kugler (Ed.), *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, volumen 2 (1)*. ACME, Buenos Aires, p. 1–85.
- Campbell, I.D. y Campbell, C. 1994. Pollen preservation: experimental wet–dry cycles in saline and desalinated sediments. *Palynology* 18: 5–10.
- D'Antoni, H. 1983. Pollen analysis of Gruta del Indio. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 1: 83–104.
- García, A. 1999. Quaternary charophytes from Salina del Bebedero, Argentina: their relation with extant taxones and palaeolimnological significance. *Journal of Paleolimnology* 21: 307–323.
- García, A., Zárate, M.A., Paez, M.M. 1999. The Pleistocene/Holocene transition and human occupation in the Central Andes of Argentina: Agua de la Cueva locality. *Quaternary International* 53/54: 43–52.
- Gil, A. Neme, G. y Zárate, M.A. 2005. The Chronological Pattern in the Middle Holocene Human Occupation: The South of Mendoza (Argentina). *Quaternary International* 132: 81–94.
- Gil, A., Guerci, A. y Neme, G. 2009. Human occupation, environmental structure and the archaeofaunal record during the mid-Holocene in west-central Argentina. *Before Farming* 3: 1–16.
- González, M.A. 1981. Evidencias paleoclimáticas en la Salina del Bebedero (San Luis). *8º Congreso Geológico Argentino* (San Luis), *Actas* 3: 411–438.
- González, M.A. 1982. Oscilaciones pleistocénicas del nivel lacustre en la actual Salina del Bebedero (San Luis, Argentina). Su relación con la última glaciación en la Cordillera de Mendoza y San Juan. *INQUA-Commission on Genesis and Lithology of Quaternary Deposits, South American Regional Meeting* (Neuquen), *Resúmenes*, p. 41–43.
- González, M.A. 1983. Pleistocene and Holocene lake levels in the actual Salina del Bebedero, Argentina. ¹⁴C dates. Relations with the latest Pleistocene glaciación. *INQUA-Symposium on Desert Encroachment, Fast Tropical Erosion, and Coastal Subsidence and Submergence* (Hamburgo), *Abstracts*, p. 88.
- González, M.A. 1994. Salinas del Bebedero Basin (República Argentina). *Global Geological Records of Lake Basins*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 381–386.
- González, M. y Weiler, N. 1984. Cambios climáticos del Holoceno medio en latitudes medias de la República Argentina. *2ª Reunión del Grupo Periglacial Argentino* (Mendoza), *Anales* 6: 87–105.
- González, M.A. y Maidana, N.I. 1998. Post-Wisconsinian paleoenvironments at Salinas del Bebedero basin, San Luis, Argentina. *Journal of Paleolimnology* 20: 353–368.
- González, M.A., Musacchio, E., García, A., Pascual, R. y Corte, A.E. 1980. Sobre la presencia de foraminíferos en sedimentos holocenos de la Salina del Bebedero (San Luis, Argentina). *1º Simposio sobre Problemas del Litoral Atlántico Bonarense* (Mar del Plata), *Resúmenes*, p. 253–269.
- González, M.A., Musacchio, E., García, A., Pascual, R. y Corte, A. 1981. Las líneas de costa Pleistocenas de la Salina del Bebedero, San Luis, Argentina. Implicancias paleoambientales de sus microfósiles. *8º Congreso Geológico Argentino* (San Luis), *Actas* 3: 617–628.
- González, M.A., Maidana, N.I. Schäbitz, F. y Tognelli, G. 1998. Patagonian lake drilling transect: first results from Salinas del Bebedero cores. EOS, Transactions American Geophysical Union 79(45): F479.
- González Díaz, E.F. 1981. Geomorfología. Geología de la Provincia de San Luis. *Relatorio del 8º Congreso Geológico Argentino* (San Luis), *Relatorio*, p. 345–353.
- Grimm, E. 2007. TGView-Tilia software Version 1.0.1. Illinois State Museum, Research and Collection Center Springfield, Illinois, USA.
- Grimm, E.C., Lozano-García, S., Behling, H. y Markgraf, V. 2001. Holocene Vegetation and Climate Variability in the Americas. En: V. Markgraf (Ed.), *Interhemispheric Climate Linkages*. Academic Press, San Diego, p. 325–370.
- Heusser, C.J. 1971. *Pollen and Spores of Chile*. University of Arizona Press, Tucson, 167 p.
- Heusser, C.J. 1983. Quaternary pollen record from Laguna de Tagua Tagua, Chile. *Science* 219: 1429–1431.
- Heusser, C.J. 1990. Ice age vegetation and climate of subtropical Chile. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 80: 107–127.

- Maidana, N.I. 1994. Fossil diatoms from Salinas del Bebedero (San Luis, Argentina). *Diatom Research* 9: 99–119.
- Markgraf, V., 1983. Late and Postglacial Vegetational and Paleoclimatic Changes in Subantarctic, Temperate and Arid environments in Argentina. *Palynology* 7: 43–70.
- Markgraf, V., Baumgartner, T.R., Bradbury, J.P., Diaz, H.F., Dunbar, R.B., Luckman, B.H., Seltzer, G.O., Swetnam, T.W. y Villalba, R. 2000. Paleoclimate reconstruction along the Pole-Equator-Pole transect of the Americas (PEP 1). *Quaternary Science Reviews* 19: 125–140.
- Markgraf, V., Whitlock, C., Anderson, R.S. y García, A. 2008. Late Quaternary vegetation and fire history in the northernmost Nothofagus forest region: Mallín Vaca Lauquen, Neuquén Province, Argentina. *Journal of Quaternary Science* 24: 248–258.
- Markgraf, V. y D'Antoni, L.H. 1978. *Pollen Flora of Argentina*. University of Arizona Press, Tucson, 208 p.
- Navarro, D. y Whitlock, C. 2010. Changes in vegetation, climate and fire regimes in SW Mendoza (Argentina) over the last 6400 cal yrs BP: Laguna El Sosneado record. *2nd International Symposium "Reconstructing Climate Variations in South America and the Antarctic Peninsula over the last 2000 years"* (Valdivia), Abstracts, p. 95.
- Navarro, D., Mehl, A., Zárate, M. y Paez, M. 2010. Mid-late Holocene environments of Agua Buena locality (34°50' S; 69°56' W), Mendoza, Argentina. Proceedings of the PAGES 1st Young Scientists Meeting: Retrospective view on our planet's future. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Institute of Physics Publishing, UK. Online: 1755-1315 Volume 9 (1): 012014. <http://iopscience.iop.org/1755-1315/9/1/012014>.
- Neme, G. y Gil, A. 2009. Human Occupation and Increasing Mid-Holocene Aridity. *Current Anthropology* 50: 149–163.
- Overpeck, J.T., Webb III, T. y Prentice, I.C. 1985. Quantitative interpretation of fossil pollen spectra: dissimilarity coefficients and the method of modern analogs. *Quaternary Research* 23: 87–108.
- Paez M.M., Navarro, D., Rojo, L.D., Guerci, A. 2010. Vegetación y paleoambientes durante el Holoceno. En: M. Zárate, A. Gil y G. Neme (Comps.), *Paleoambientes y ocupaciones humanas del centro-oeste de Argentina durante la transición Pleistoceno-Holoceno y Holoceno*. Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires, p. 175–212.
- Peña Zubiarte, C.A., Anderson, D.L., Demmi, M.A., Saenz, J.L. y D'Hiriart, A. 1998. *Carta de suelos y vegetación de la provincia de San Luis*. INTA-E.E.A. San Luis, 105 p.
- Prohaska, F. 1976. The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. En: W. Schwerdtfeger (Ed.), *Climate of Central and South America*. Elsevier, Amsterdam, p. 12: 13–112.
- Ramos, V. 1999. Las provincias geológicas argentinas. En: R. Caminos (Ed.), *Geología Argentina. Anales del SEGEMAR* 29: 41–97.
- Roig, F.A. 1960. Boquejos fitogeográficos de las provincias de Cuyo. *Comité Nacional Estudios Problemas Regiones Áridas y Semiáridas, Subcomité Zona Cuyo* (Mendoza), *Publicación* 3: 1–33.
- Roig, F. 1972. Bosque Fisonómico de la Vegetación de la provincia de Mendoza. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 13, Suplemento: 49–80.
- Roig, F.A. 1982. Cuyo. En: *Conservación de la vegetación natural de la República Argentina. 18^{va} Jornadas Argentinas de Botánica* (San Miguel de Tucumán), 127 p.
- Roig, F.A., González Loyarte, M.M., Martínez Carretero, E., Berra, A. y Wuilloud, C. 1992. La Travesía de Guanacache. Tierra Forestal. *Mul-tequina* 1: 83–91.
- Roig, F.A., Martínez Carretero, E. y Mendez, E. 2000. Vegetación de la Provincia de Mendoza. En: E.M. Abraham y F. Rodríguez Martínez (Eds.), *Recursos y Problemas Ambientales de la Zona Árida. Primera parte: provincias de Mendoza, San Juan y La Rioja, Tomo I: Caracterización ambiental*. IADIZA, Mendoza, p. 63–66.
- Rojo, L.D. 2003. Análisis palinológico-sedimentológico del Holoceno Superior de Salinas del Bebedero (San Luis, Argentina): primeros resultados. *Revista del Museo de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia Nueva Serie* 5: 285–289.
- Rojo, L.D., Paez, M.M., Zárate, M.A., Chiesa, J.O., Strasser, E.N., De Francesco, C. y Navarro, D. 2006. Estudios paleoambientales del Holoceno en zonas semiáridas de Cuyo. *13^{er} Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología* (Bahía Blanca), *Resúmenes*: 94.
- Rojo, L.D., Mehl, A., Paez, M.M., Zárate, M.A. 2012. Mid- to Late Holocene pollen and alluvial record of the arid Andean piedmont between 33°–34°S, Mendoza, Argentina: inferences about floodplain evolution. *Journal of Arid Environments* 77: 110–122.
- Rojo, L.D., Villalba, R. y Gil, A. 2010. Late Holocene environments in arid and semiarid regions of central-western Argentina (30°–5°S): pollen records and paleoclimatic inferences. *2nd International Symposium "Reconstructing Climate Variations in South America and the Antarctic Peninsula over the last 2000 years"* (Valdivia), Abstracts, p. 85.
- Schäbitz, F. 1994. Holocene climatic variations in northern Patagonia, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 109: 287–294.
- Schäbitz, F. 2003. Estudios polínicos del Cuaternario en las regiones áridas del sur de Argentina. *Revista del Museo de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia Nueva Serie* 5: 291–300.
- Veblen, T.T., Donoso, C., Kitzberger, T. y Rebertus, A.J. 1996. Ecology of Southern Chilean and Argentinean *Nothofagus* Forests. En: T.T. Veblen, R. Hill y J. Read (Eds.), *The Ecology and Biogeography of Nothofagus Forests*. Yale University Press, New Haven, p. 293–353.
- Villagra, P., Cony, M., Mantován, N., Rossi, B., González, M., Villalba, R., Marone, L. 2004. Ecología y manejo de los algarrobales de la Provincia Fitogeográfica del Monte. En: M. Arturi, J. Frangi y J. Goya (Eds.), *Ecología y manejo de bosques nativos de Argentina*. Editorial Universidad Nacional de La Plata, La Plata, p. 1–32.
- Villagrán, C. y Varela, J. 1990. Palynological evidence for increased aridity on the central Chilean coast during the Holocene. *Quaternary Research* 34: 198–207.
- Wingenroth, M. y Heusser, C.J. 1984. *Polen en la alta cordillera*. IANIGLA, Mendoza, 195 p.
- Zárate, M.A. 2002. Los ambientes del Tardiglacial y Holoceno en Mendoza. En: A.F. Gil y G.A. Neme (Eds.), *Entre montañas y desierto: arqueología del sur de Mendoza*. Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires, p. 9–42.
- Zárate, M.A., Paez, M.M. 2002. Los Paleoambientes del Pleistoceno-Holoceno en la Cuenca del Arroyo La Estacada, Mendoza. En: D. Trombotto y R. Villalba (Eds.), *IANIGLA, 30 años de Investigación Básica y Aplicada en Ciencias Ambientales*. ZetaEditores, Mendoza, p. 117–121.
- Zárate, M., Gil, A. y Neme, G. 2010. Integrando los registros: Generalizaciones, alcances y limitaciones. En: M. Zárate, A. Gil y G. Neme (Comps.), *Paleoambientes y ocupaciones humanas del centro-oeste de Argentina durante la transición Pleistoceno-Holoceno y Holoceno*. Sociedad Argentina de Antropología, Buenos Aires, p. 309–333.

doi: 10.5710/AMGH.13.12.2011.416

Recibido: 8 de diciembre de 2010**Aceptado:** 13 de diciembre de 2011