

Relaciones cuantitativas polen-clima actual para el pastizal pampeano: primeros resultados

Marcela S. TONELLO¹ & Aldo R. PRIETO^{1,2}

¹Laboratorio de Paleocología y Palinología, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata. Funes 3250, Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

²CONICET

Abstract: Quantitative relationship between modern pollen and climate for the Pampa grassland: first results. We examine modern pollen, potential vegetation and climate relationship for the Pampa grassland and their ecotone with the xerophytic woodland of Argentina using isopollen maps, scatter and percentage diagrams and DCA. These analyses are based on an array of 119 modern pollen samples extending between 34°-41° lat S and 56°-67° long W. Four potential vegetation units were defined in NE-SW gradient. Results between four pollen variables (xerophytic woodland, Poaceae, aquatics and Asteraceae subf. Asteroideae) and TMA (mean annual temperature), PMA (mean annual precipitation) and DH (hydric availability) are presented. All pollen variables show significant correlation with PMA and DH. DH is the main ecological factor that explain pollen assemblages distribution. Despite human impact on Pampa grassland there is a good correspondence between potential vegetation units and pollen samples. This results suggest the potential of this database for quantitative climate reconstructions, especially the hydrological regime.

Key words: modern pollen-climate relationship, Pampa grassland, xerophytic woodland, Argentina.

En los últimos años ha habido un gran progreso en el modelado del clima del pasado basado en registros polínicos, en especial en las interpretaciones y las reconstrucciones del clima del Cuaternario Tardío para varias regiones del mundo. Tradicionalmente las relaciones entre los conjuntos polínicos y climáticos han sido evaluadas y descritas cualitativamente. Sin embargo, la cuantificación espacial y temporal de estas relaciones, mediante diversos métodos cuantitativos de calibración, permiten obtener una sólida comprensión de los procesos ambientales pasados. Estos métodos han sido desarrollados y aplicados exitosamente en áreas con abundantes datos polínicos y climáticos de Europa y Estados Unidos (por ej., Bartlein *et al.*, 1984, 1986; Prentice *et al.*, 1992; Guiot *et al.*, 1993; Tarasov *et al.*, 2000). Sin embargo, en áreas donde los datos son espaciados, como en Sudamérica, la aplicación de éstos métodos se presenta aún como un importante desafío (Markgraf *et al.*, 2002). Los primeros intentos de obtener estimaciones cuantitativas del clima para el Cuaternario tardío del sur de Argentina han sido realizados por Schäbitz & Liebricht (1998) y Schäbitz (1999, 2003) para la región extra-andina a partir de un modelo actual polen-precipitación media anual (Paez *et al.*, 2001) y para la región de

los bosques subantárticos y la selva valdiviana por Markgraf *et al.* (2002) a partir de la relación entre polen actual y tres parámetros climáticos estacionales. Las estimaciones cuantitativas obtenidas de las variables climáticas presentaron ciertas limitaciones cuando los datos polínicos o climáticos fueron escasos o los conjuntos polínicos fósiles no tenían análogos.

En todos los casos, el primer paso para la obtención de funciones de calibración es establecer la relación actual polen-clima y para ello es necesario contar con suficientes datos polínicos y climáticos. La región pampeana es una de las pocas regiones de Argentina donde estos datos son suficientes para permitir la construcción de un modelo ajustado para obtener reconstrucciones cuantitativas del clima para el Pleistoceno tardío-Holoceno.

Hasta la actualidad los trabajos de reconstrucciones paleoclimáticas para esta región, basados en varios registros *proxy* (polen, isótopos, vertebrados, sedimentos) han sido de carácter cualitativo (por ej., Prieto, 1996, 2000; Bonadonna, *et al.*, 1999; Tonni *et al.*, 1999; Zárate *et al.*, 2000). Esta falta de estimaciones cuantitativas de las condiciones climáticas del pasado han derivado en inferencias paleoclimáticas para el Holoceno

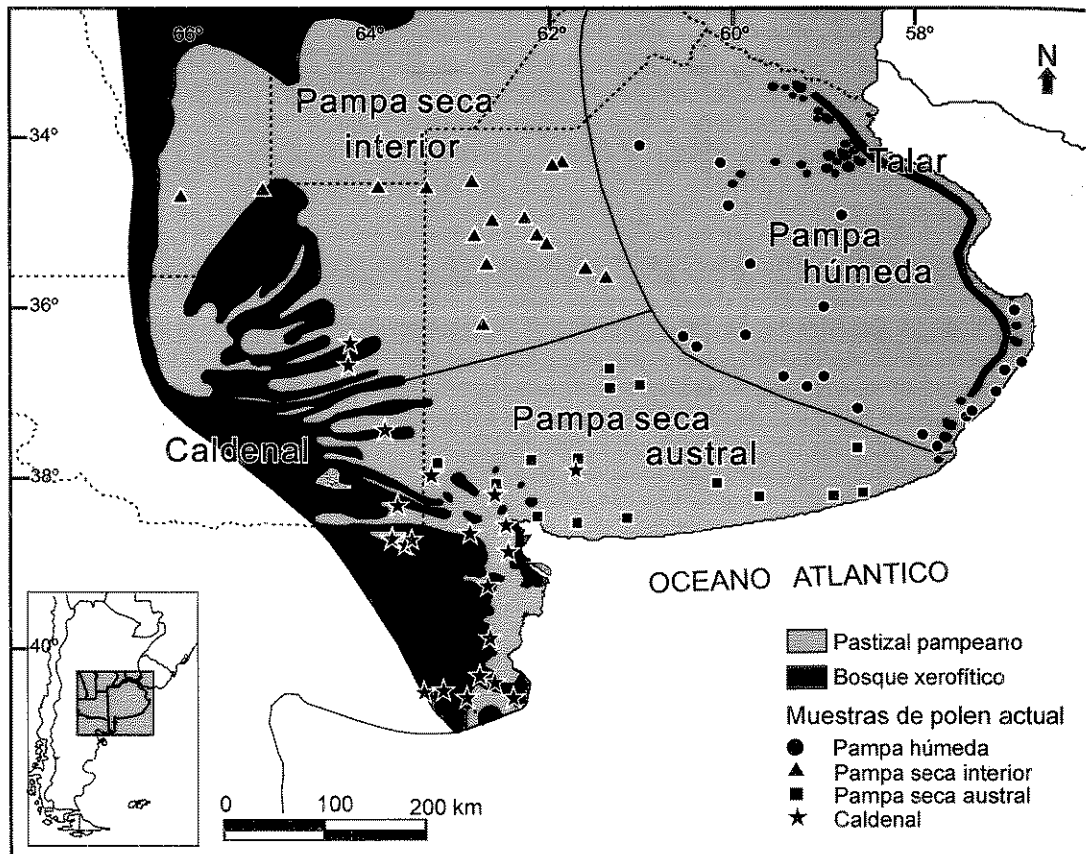


Fig. 1. Mapa de ubicación y unidades de vegetación potencial. Localización de las muestras de polen actual.

significativamente diferentes (Iriondo & García, 1993; Prieto, 1996; Tonni *et al.*, 1999).

En este trabajo se analiza cuantitativamente la relación vegetación potencial-polen y se presentan los primeros resultados de la relación de los principales tipos polínicos con la temperatura y la precipitación media anual y con la disponibilidad hídrica para la región pampeana y su ecotono con el Caldenal, como primer paso para la construcción de funciones de calibración.

GENERALIDADES DEL ÁREA

El área de estudio comprende la región entre los 34°-41° S y 57°-67° O (Fig. 1). En general puede ser considerada como una planicie continua, interrumpida sólo en la parte sur-central por los sistemas serranos de Tandilia (altura máxima: 524 m snm) y Ventania (altura máxima: 1247 m snm). Al oeste se diferencian zonas de planicies alternando con zonas de mesetas de 100 a 300 m snm. Fisonómicamente la vegetación es un pastizal, limitado al este y sudoeste por el Océano Atlántico

y rodeado por un bosque xerofítico, que se extiende en forma de arco por el oeste y el norte, penetrando a lo largo del litoral atlántico hasta los 38° S (Fig. 1). El pastizal pampeano representa una comunidad donde Poaceae es la familia dominante. Es difícil establecer los límites entre las distintas unidades del pastizal únicamente desde el punto de vista florístico, ya que en muchos casos no es posible definir cuáles son las especies dominantes. En general, en el sector septentrional son más frecuentes las gramíneas mesófilas, mientras que en la zona occidental y austral la xerofilia es más acentuada (Cabrera, 1976). El límite oeste y sudoeste del pastizal pampeano está determinado por su contacto con el Caldenal. Este es un amplio ecotono pastizal-bosque xerofítico, que se ha originado en parte por las prácticas agropecuarias que han modificado las características florísticas y estructurales de la vegetación original y que en la actualidad no es posible definirlo claramente en varios sectores (Veretoni & Aramayo, 1976; León & Anderson, 1983; León, 1991). El límite noreste del pastizal pampeano lo constituye el Talar. Se

Cuadro 1. Lista de tipos polínicos agrupados.

Bosque xerofítico (caldenal)	<i>Ephedra, Prosopis, Schinus, Larrea, Condalia, Lycium, Rhamnaceae, Acacia, Caesalpinioideae, Prosopidastrum, Celtis, Sambucus</i>
Acuáticas	<i>Cyperaceae, Typha, Alternanthera, Ranunculus, Myriophyllum, Potamogeton, Solanaceae, Solanum, Monocotiledóneas, Triglochin</i>
Asteraceae subf. Asteroideae	Asteraceae subf. Asteroideae indiferenciadas, <i>Centaurea, Hyalis, Crisanthemun, Mutisiae, Carduus, Ambrosia</i>
Apiaceae	Apiaceae indiferenciadas, <i>Hydrocotyle, Apium, Eryngium</i>
Otras hierbas	<i>Gomphrena, Spergularia, Corrigiola, Paronychia, Plantago, Papilionatae, Urticaceae, Polygonaceae, Geraniaceae, Campanulaceae, Gilia tipo, Plumbaginaceae, Convolvulaceae, Malvaceae, Phyla, Valerianaceae, Papaveraceae, Loganiaceae, Portulacaceae, Boraginaceae, Rubiaceae, Lamiaceae, Scrophulariaceae, Oxalis, Euphorbiaceae, Orchidaceae</i>

Cuadro 2. Unidades de vegetación potencial.

Frenguelli (1940)	Cabrera (1951, 1968)		León (1991)		Bailey (1989)	Este trabajo		
Estepa herbácea Pampeana Central	Provincia Pampeana (estepa graminosa o pseudoestepa)	Distrito Oriental	Pastizal pampeano	Pampa ondulada	Praderas subtropicales (estepas húmedas y estepas arbustivas)	Pastizal pampeano	Pampa húmeda	
				Pampa deprimida			Estepas y "arbustos" de clima continental moderado	Pampa seca
Pampa interior	plana oeste	Bosque xerofítico		Caldenal	Talar			
Pampa austral								
Monte Puntano Pampeano	Provincia del Espinal (bosque xerofítico)	Distrito del Caldén		Estepas secas, bosques abiertos y "arbustos" de clima continental				
Talar		Distrito de los Talares						

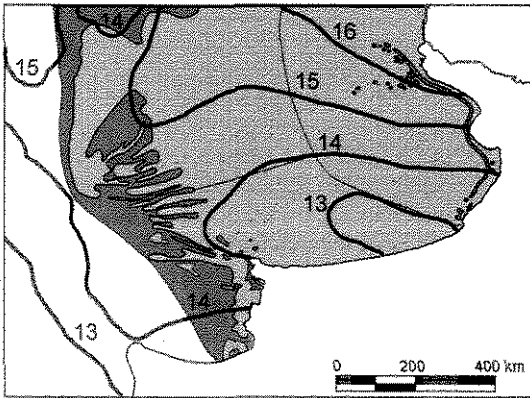
trata de una comunidad edáfica que penetra por el noreste y se extiende a lo largo de la costa Atlántica hasta los 38° S, sobre los cordones conchiles del Holoceno y antiguos médanos (Cabrera, 1968).

Los suelos de gran parte de esta región han sido destinados a las prácticas agropecuarias intensivas durante más de 100 años, que han modificado las características florísticas y estructurales de la vegetación original. Sin embargo pueden encontrarse relictos de la vegetación prístina en áreas serranas o en áreas que no han sido cultivadas por ser muy bajas y presentar suelos

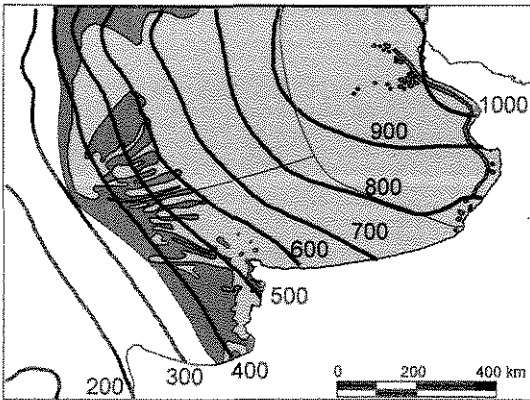
hidromórficos o halomórficos (León *et al.*, 1984).

La región se encuentra dentro de la faja climática típicamente templada de la tierra, influenciada por el efecto de la oceanidad debida a la alta proporción de agua en relación al área continental, en comparación con otras áreas del mundo (Burgos, 1968). Está bajo la influencia del centro de alta presión semipermanente del Atlántico, con el aporte de vientos húmedos prevaecientes del noreste. Este patrón es a menudo modificado por irrupciones polares frontales desde el sur, que se oponen al despla-

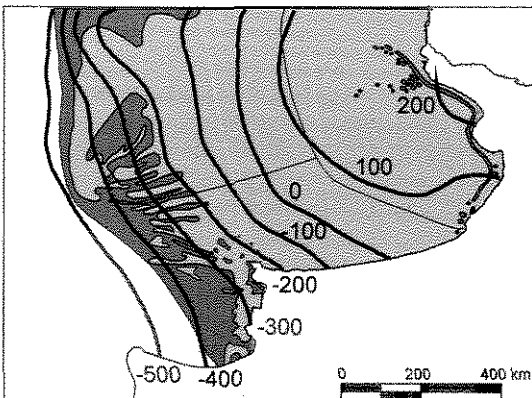
Temperatura media anual (°C)



Precipitación media anual (mm)



Disponibilidad Hídrica (PMA-ETP) (mm)



zamiento de estas masas de aire húmedas, provocando lluvias prefrontales y frontales en la región. Cuando el flujo de vientos del oeste permanece más al sur de su posición media las precipitaciones son más abundantes, y en aquellos períodos en los que el flujo alcanza posiciones más al norte, las lluvias son menores que las normales (Barros *et al.*, 1996). El régimen de variación anual de las precipitaciones es de transición entre las lluvias continentales subtropicales de verano y las lluvias marítimas de invierno, originando una doble estación lluviosa con un máximo principal en otoño y un segundo máximo hacia el final de la primavera (Prohaska, 1976).

DATOS Y MÉTODOS

Vegetación

La vegetación potencial (Paruelo *et al.*, 2001) representa aquella vegetación que potencialmente se desarrollaría sin la intervención humana, por lo cual se excluyen de la clasificación a aquellos ecosistemas antropogénicos como cultivos, pasturas cultivadas, plantaciones de árboles o tierras de pastoreo modificadas. Las unidades de vegetación potencial del área se definieron a partir de descripciones fisonómicas y florísticas de la vegetación realizadas por Frenguelli (1940), Parodi (1940), Cabrera (1941, 1951, 1968), Vervoost (1967), Verettoni & Aramayo (1976) y Lamberto (1987), así como aquellas que incorporan la heterogeneidad climática y geomorfológica (Cano *et al.*, 1980; Bailey, 1989; León, 1991).

Polen

Para la construcción de la base de datos polínicos se seleccionaron 119 muestras de polen superficial provenientes de la Base de Datos del Grupo de Investigación de Paleoecología y Palinología (Universidad Nacional de Mar del Plata) y de la Base de Datos de F. Schäbitz (Alemania). Cada muestra fue georeferenciada e incorporada a un mapa digitalizado (Fig. 1), mediante un sistema de información geográfica (GIS). En los casos de muestras próximas entre sí y que representan una misma comunidad vegetal, se agruparon y se calculó la media para cada tipo polínico, de esta manera la matriz se redujo a 75 muestras y 101 taxones. Algunos tipos polínicos se agruparon de acuerdo con las características ecológicas de los géneros o especies que representan en: acuáticas (el 85% está representado por Cyperaceae) y bosque xerofítico (Cuadro 1). También se agruparon aquellos que pertenecen a las familias Asteraceae subf. Asteroideae y Apiaceae. Otras hierbas representan aquellos tipos que corresponden a esta forma biológica no

Fig. 2. Temperatura media anual (TMA), precipitación media anual (PMA) y disponibilidad hídrica (DH) del pastizal pampeano y bosque xerofítico. ETP: evapotranspiración potencial.

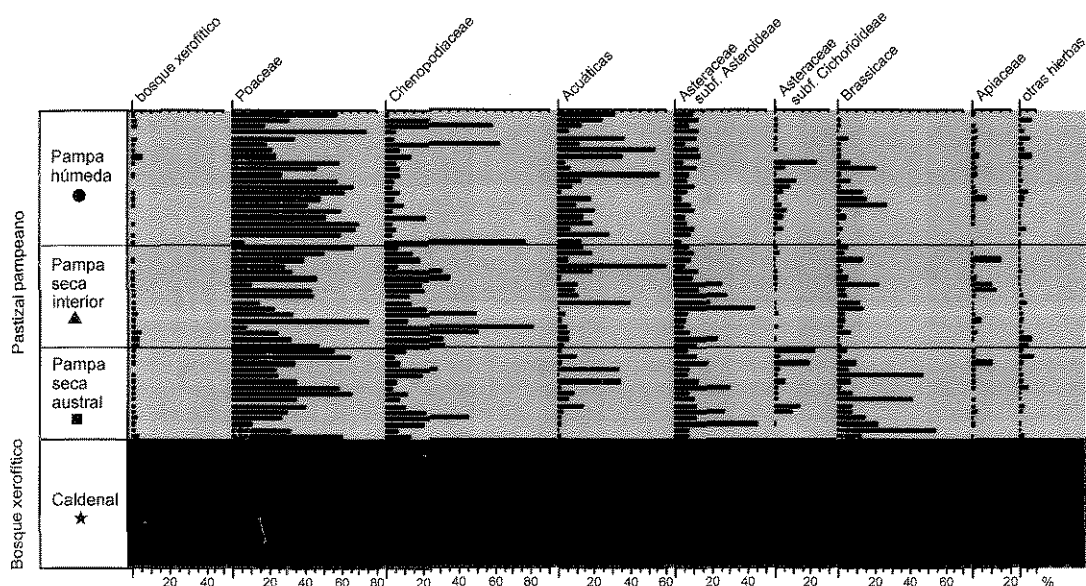


Fig. 3. Diagrama polínico de las variables seleccionadas. Las muestras se ordenaron de acuerdo con su ubicación en las distintas unidades de vegetación potencial (Fig. 1).

incluidos en las demás categorías (Cuadro 1). La matriz de porcentajes se construyó considerando aquellas variables polínicas que cumplieron con la condición de tener una media mayor al 1% o si el valor de la media era menor al 1%, que el valor máximo fuese mayor al 5% en al menos una muestra. Solamente 9 variables polínicas: bosque xerofítico, Poaceae, Chenopodiaceae, acuáticas, Asteraceae subf. Asteroideae, Asteraceae subf. Cichorioideae, Brassicaceae, Apiaceae y otras hierbas, cumplieron con estos requisitos. Aún cuando la variable Brassicaceae representa mayoritariamente especies introducidas (malezas y adventicias) fue incluida en el análisis de las relaciones cuantitativas polen-clima porque aparece con altos porcentajes y concentraciones en varias secuencias fósiles del Pleistoceno tardío Holoceno del área (Prieto, 2000).

Clima

Los datos climáticos provienen de la base de datos de Leemans & Cramer (1991). Como variables climáticas fueron seleccionadas la temperatura media anual (TMA), la precipitación media anual (PMA) y la disponibilidad hídrica (DH) (Fig. 2). Los valores de TMA y PMA fueron verificados con el Atlas Climatológico de América del Sur (Hoffman, 1975) y con registros de estaciones meteorológicas para el periodo 1950-1980 (Servicio Meteorológico Nacional). La variable DH es el resultado de la diferencia entre los valores medios de precipitación y evapo-

Cuadro 3. Coeficientes de correlación entre las variables polínicas y climáticas seleccionadas.

Los números en negrita indican valores significativos a $p < 0,05$.

	TMA	PMA	DH
Bosque xerofítico	-0,09	-0,64	-0,65
Poaceae	-0,11	0,32	0,36
Acuáticas	0,26	0,60	0,57
Asteraceae subf.	0,00	-0,24	-0,26
Asteroideae			

transpiración potencial. Los valores de evapotranspiración potencial (ETP) fueron calculados a partir de la ecuación de evapotranspiración ajustada (Thornthwaite, 1948). La asignación de los valores de las variables climáticas a cada muestra polínica se realizó mediante interpolación lineal simple.

Para el análisis de la relación polen-clima se seleccionaron cuatro variables polínicas: bosque xerofítico, Poaceae, acuáticas y Asteraceae subf. Asteroideae. Se calcularon los coeficientes de correlación y se construyeron gráficos de dispersión entre estas variables polínicas y las variables climáticas. Se construyeron mapas isopolínicos con el objetivo de caracterizar el patrón espacial actual de las variables polínicas seleccionadas y su relación con la distribución de la vegetación.

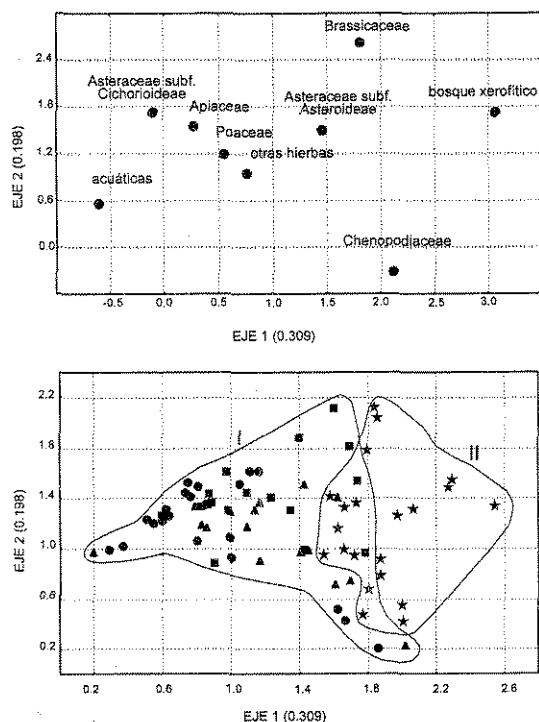


Fig. 4. Resultados del DCA (primeros dos ejes) para las muestras de polen superficial y las variables polínicas. ▲, pampa seca interior; ■, pampa seca austral; ●, pampa húmeda; ★, bosque xerofítico.

El conjunto de los datos polínicos fue analizado mediante *Detrended Correspondence Analysis* (DCA) con el objetivo de comparar las muestras de polen superficial, analizar su correspondencia con la distribución de la vegetación potencial e interpretar el gradiente en términos climáticos. El diagrama polínico en porcentajes y el análisis de ordenación se realizaron utilizando el programa Tilia 1.12 (Grimm, 1991).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación polen-vegetación

Se determinaron cuatro unidades de vegetación potencial en un gradiente NE-SO: Pampa húmeda y Pampa seca (interior y austral), pertenecientes al pastizal pampeano, y Caldenal y Talar, dentro del bosque xerofítico (Fig. 1, Cuadro 2). Se disponen de muestras polínicas para todas las unidades de vegetación potencial, con excepción del Talar (Fig. 1).

Los valores porcentuales de las variables polínicas para cada unidad de vegetación potencial se sintetizan en la figura 3. Las diferencias más claras se observan entre el pastizal pampeano y el

bosque xerofítico. Poaceae caracteriza a los pastizales, estando presente en todas las unidades con porcentajes que varían entre 20 y 70%. Dentro de la unidad Caldenal la variable bosque xerofítico, que caracteriza a la vegetación dominante, está presente con valores que varían entre 5 y 50%, mientras que los valores de Poaceae no superan el 30% en promedio. En esta unidad es significativa la presencia de Chenopodiaceae con valores que oscilan entre 20 y 60%, mientras que en los pastizales estos valores son menores en promedio al 20%. Valores mayores se presentan en situaciones locales que se corresponden con muestras ubicadas en zonas medianosas costeras de la Pampa húmeda y la Pampa

seca austral, o en terrenos bajos e inundables de la Pampa seca interior. Brassicaceae está presente en el Caldenal con porcentajes similares a la unidad Pampa seca austral, entre 10 y 60%, mientras que en el resto de las unidades del pastizal pampeano la mayoría de los valores son menores al 10%. Asteraceae subf. Asteroideae presenta en promedio valores menores al 10%, excepto en la Pampa seca y en el Caldenal, donde algunas muestras superan el 20%. Asteraceae subf. Cichorioideae está presente en la Pampa húmeda con valores que alcanzan el 10% y en la Pampa seca austral, el 20%. Apiaceae está presente en la Pampa seca interior y austral con valores que no superan el 15%. La variable acuáticas caracteriza la unidad Pampa húmeda con valores que alcanzan hasta el 50%, mientras que en la Pampa seca los valores en promedio son menores al 10% y sólo son superados en algunas muestras que representan situaciones locales asociadas a lagunas.

Aun cuando la vegetación original de la estepa pampeana ha sido modificada por el impacto humano, existe una correspondencia entre las unidades de vegetación potencial y las muestras de polen superficial. En el DCA (Fig. 4) es posible diferenciar las muestras polínicas provenientes del pastizal (grupo I) de aquellas pertenecientes al bosque xerofítico (grupo II). Poaceae, otras hierbas, Apiaceae, Asteraceae subf. Cichorioideae y acuáticas definen las distintas unidades del pastizal pampeano mientras que la variable bosque xerofítico define la unidad Caldenal. La zona de intersección entre algunas muestras del bosque xerofítico y de la Pampa seca (interior y austral), definida por Brassicaceae, Chenopodiaceae y Asteraceae subf. Asteroideae, representa el ecotono pastizal-bosque xerofítico. Dentro del grupo I existe solapamiento entre algunas muestras de las diferentes unidades del pastizal, impidiendo una clara división entre Pampa húmeda y Pampa Seca, esta situación también está reflejada en la distribución de la vegetación actual. Sin embargo

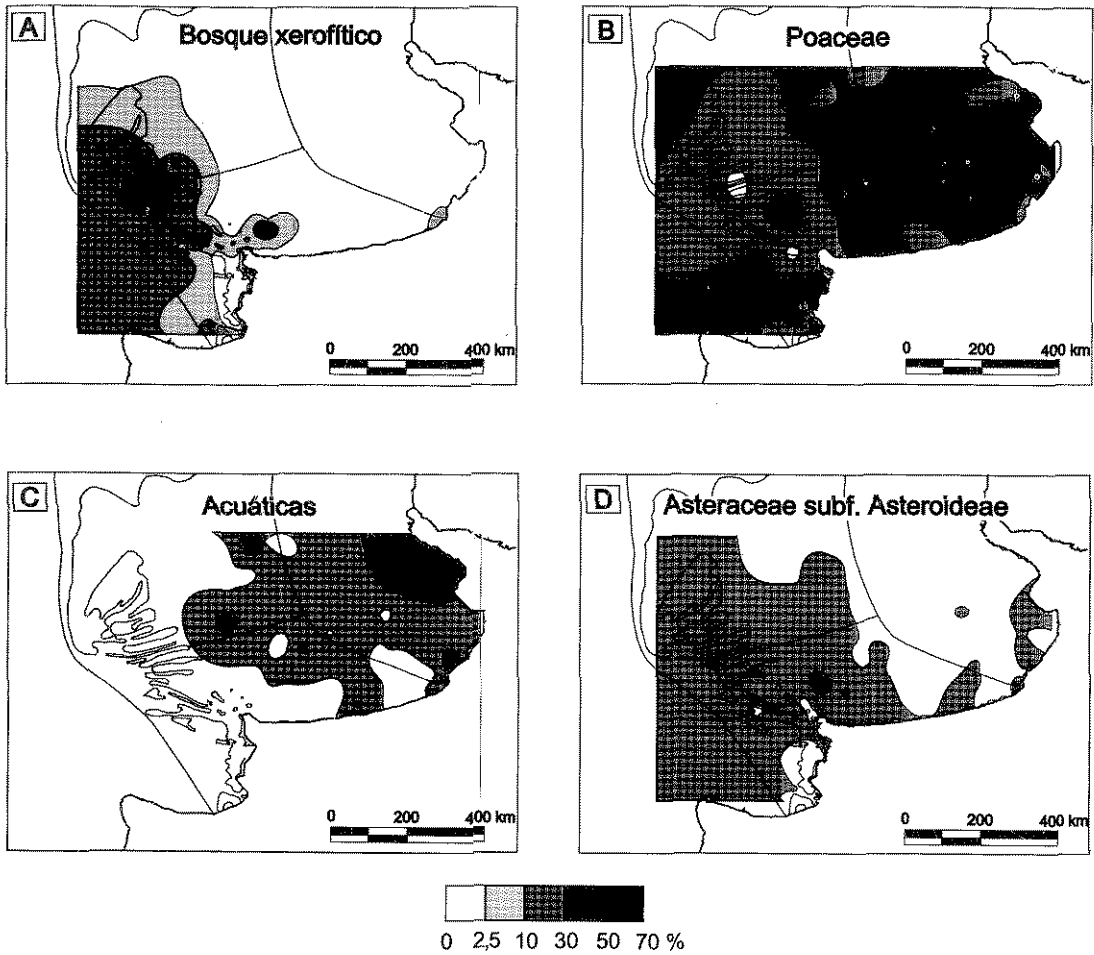


Fig. 5. Mapas isopolínicos de las variables polínicas (a) bosque xerofítico, (b) Poaceae, (c) acuáticas y (d) Asteraceae subf. Asteroideae.

algunas muestras de la Pampa seca presentan mayor afinidad con el grupo II (bosque xerofítico) mientras que otras se asemejan a muestras de la Pampa húmeda.

Relación polen-clima

La relación entre el gradiente climático y la abundancia de las variables polínicas seleccionadas se analizó a partir de los mapas isopolínicos (Fig. 5), los coeficientes de correlación (Cuadro 3) y los gráficos de dispersión (Fig. 6).

Bosque xerofítico. Representa árboles y arbustos cuyos valores varían entre el 2,5% en el ecotono con el pastizal pampeano, hasta el 30% hacia el oeste, señalando su correspondencia con el Caldenal (Fig. 5.a). Esta variable no presenta correlación con la TMA, y presenta una correlación negativa con la PMA y la DH (Cuadro 3). Los diagramas de dispersión indican que la mayoría

de los valores mayores al 5% están asociados a precipitaciones entre 550 y 350 mm anuales y a un déficit hídrico entre -200 y -400 mm. Los valores polínicos menores al 2,5% se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo de todo el rango climático (Fig. 6.a), debido a que algunos tipos polínicos incluidos en esta variable no son exclusivos del Caldenal.

Poaceae. Esta variable representa la familia más importante en términos de número de especies y abundancia del pastizal pampeano. Está ampliamente distribuida tanto en el pastizal como en el Caldenal, con valores de abundancia entre 10% y 50%. Valores mayores al 50% se encuentran en el sector oeste de la Pampa húmeda (Fig. 5.b). Se correlaciona positivamente con la PMA y la DH y no presenta correlación significativa con la TMA (Cuadro 3). Esta variable tiene una amplia distribución a lo largo de todo el gradiente

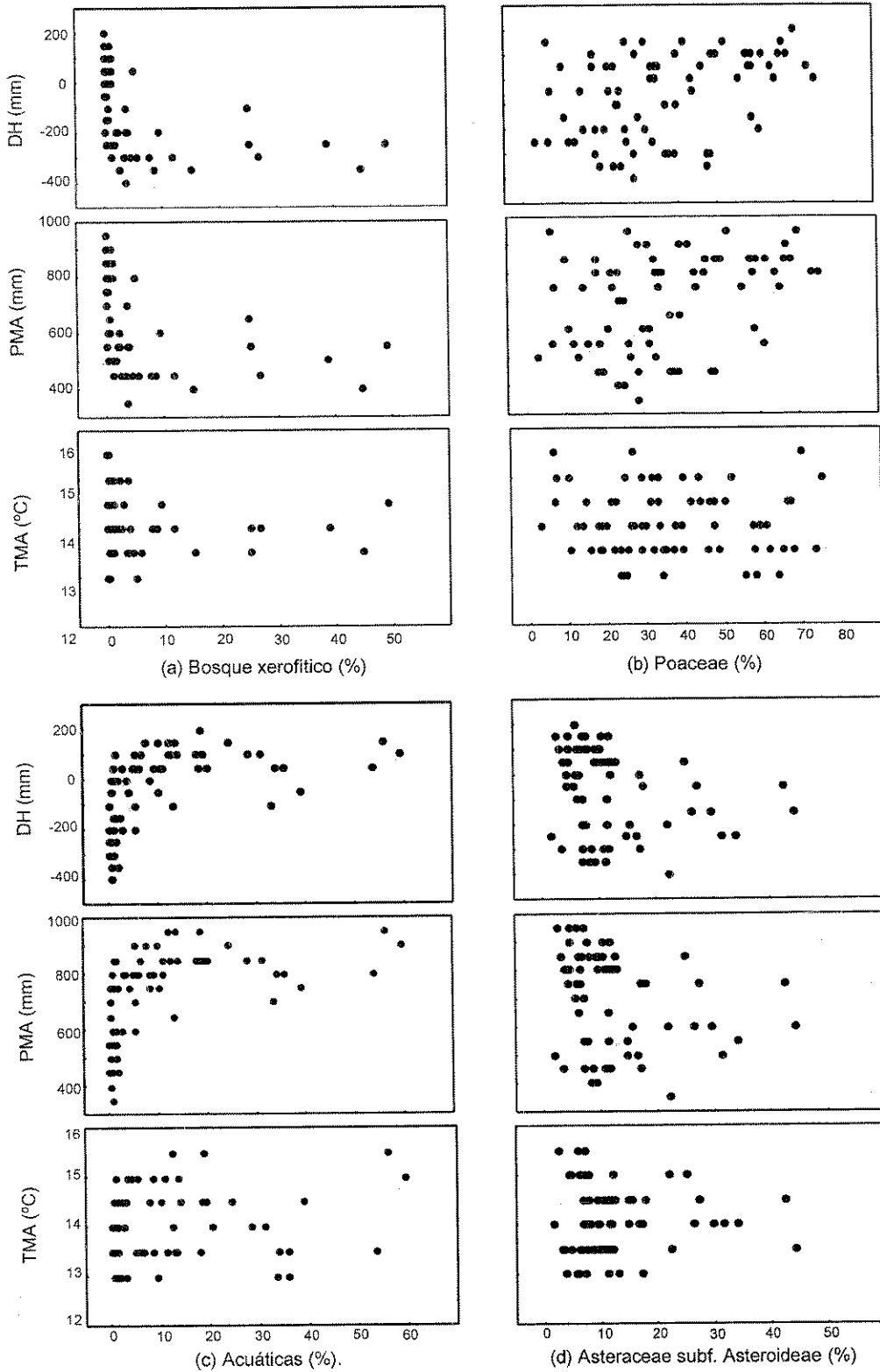


Fig. 6. Gráficos de dispersión de DH, PMA y TMA versus (a) bosque xerofítico, (b) Poaceae, (c) acuáticas y (d) Asteraceae subf. Asteroideae.

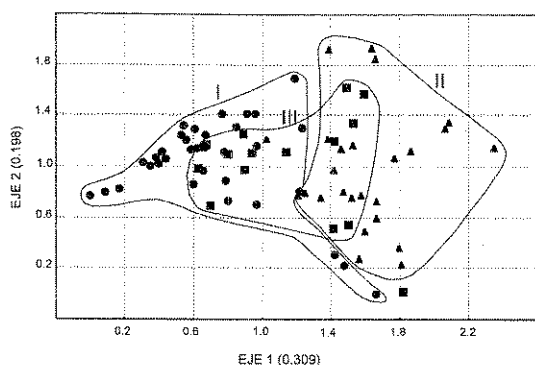


Fig. 7. Resultado del DCA (primeros ejes) para las muestras de polen superficial en función de los valores de disponibilidad hídrica (DH). ●, 200/0 mm; ■, 0/-200 mm; ▲, -200/400 mm.

climático. Sin embargo, los mayores valores polínicos tienden a concentrarse donde los valores de PMA son altos y los valores de DH indican exceso hídrico. Porcentajes mayores al 50% están relacionados con valores de PMA mayores a 750 mm y con valores de DH entre 0 y 200 mm anuales (Fig. 6.b).

Acuáticas. Caracteriza a las comunidades de ambientes acuáticos como lagunas, bajos, depresiones y terrenos inundables y representa principalmente a los "juncales" (dominados por *Cyperaceae*) y a los "totoraes" (dominadas por *Typha* sp.). Está ampliamente distribuida en la zona central de los pastizales pampeanos con valores entre 10% y 30%. Valores mayores al 30% están presentes en el noreste de la Pampa húmeda y en situaciones locales que corresponden a lagunas (Fig. 5.c). Presenta correlaciones positivas con las tres variables climáticas, presentando los coeficientes de correlación más altos con PMA y DH (Cuadro 3). Los diagramas de dispersión indican que los valores polínicos mayores al 10% están relacionados con valores de PMA entre 750 y 950 mm y con valores de DH entre 0 y 200 mm. Con respecto a la TMA, si bien se observa una leve tendencia positiva, la variable acuáticas se encuentra distribuida a lo largo de todo el rango climático de temperatura (Fig. 6.c).

Asteraceae subf. Asteroidae. Esta variable incluye algunos géneros arbustivos presentes en la Pampa seca austral y en el Caldenal y géneros de hierbas presentes en el pastizal pampeano, algunas de las cuales son consideradas malezas introducidas y que no pueden ser diferenciadas por su morfología polínica. Presenta valores de abundancia entre 10 y 30% en el oeste del pastizal pampeano, en el

ecotono y en el Caldenal. Aquéllos menores al 10% están presentes en el sector este de la Pampa húmeda (Fig. 5.d). Presenta baja correlación negativa con la PMA y la DH y no presenta correlación con la TMA (Cuadro 3). Dado que los coeficientes de correlación son bajos, la relación entre esta variable polínica y las variables climáticas no es simple de interpretar. Sin embargo, puede observarse que valores menores al 15% tienden a agruparse con PMA de entre 750 y 950 mm anuales y DH entre 0 y 200 mm. Valores mayores al 15% están ampliamente dispersos entre los 450 y 750 mm de PMA y 0 y 300 mm de DH (Fig. 6d).

Relación polen-vegetación-clima

La ordenación de las muestras polínicas en el espacio del DCA podría explicarse por la DH, ya que esta presenta los coeficientes de correlación más altos con las variables polínicas. La asignación del correspondiente valor de DH a cada muestra polínica permitió distinguir tres grupos de muestras, desde zonas con exceso hídrico a zonas con déficit hídrico (Fig. 7). El grupo I incluye aquellas muestras que se encuentran en una zona de exceso hídrico con valores que varían entre 0 y 200 mm. En el otro extremo, el grupo II incluye muestras que se encuentran en la zona de déficit hídrico más marcado con valores entre -200 y -400 mm. El grupo III se encuentra solapado con los otros dos grupos e incluye aquellas muestras que presentan valores de déficit hídrico entre 0 y -200 mm y que pertenecen a la Pampa seca. Algunas de estas muestras presentan afinidad con el bosque xerofítico y otras con la Pampa húmeda (Fig. 4). Las que presentan mayor afinidad con la Pampa húmeda son aquellas que están superpuestas al grupo I, de exceso hídrico. Las que muestran mayor afinidad con el bosque xerofítico son aquellas que están superpuestas al grupo II, de mayor deficiencia hídrica y pertenecen al ecotono pastizal-bosque xerofítico. Estos tres grupos, considerando los valores de DH, coinciden ampliamente con aquellos tipos climáticos propuestos por Burgos & Vidal (1951) y que son los que mejor se relacionan con la compleja distribución de la vegetación potencial del área (Lemcoff, 1991). De esta manera es posible establecer las siguientes relaciones: valores de DH entre 0 y 200 mm (grupo I) se corresponden con el tipo climático subhúmedo-húmedo, valores de DH entre -200 y -400 mm (grupo II) con el semiárido y valores de DH entre 0 y -200 mm (grupo III) con el subhúmedo-seco. Las muestras del grupo III corresponden a una zona de transición cuya ubicación geográfica no está perfectamente definida y que exhibe cambios en dirección E-O (Prohaska, 1976), con la propiedad

de pertenecer unos años a la parte húmeda del este y otros a la seca del oeste (Krepper, 1987). Esta transición que está determinada por el cambio del régimen de lluvias marítimo a continental, es también visible en el cambio de la vegetación desde la Pampa húmeda al Caldenal. De esta manera el primer eje de ordenación del DCA puede ser interpretado como un gradiente de humedad, a lo largo del cual se encuentran distribuidas las distintas muestras polínicas.

En términos de vegetación no pueden establecerse claramente las distintas divisiones de las unidades de vegetación potencial del pastizal pampeano a partir de las muestras polínicas superficiales. Sin embargo los grupos polínicos del pastizal pampeano pueden definirse más claramente a partir de su relación con las variables climáticas que con las unidades de vegetación potencial.

La correspondencia entre los mapas isopolínicos y los análisis estadísticos muestran la potencialidad de estos datos para ser utilizados en modelos de calibración para interpretar cuantitativamente las variables climáticas, principalmente el régimen hídrico, a partir de los registros polínicos fósiles y reconstruir la dinámica de la vegetación y las variaciones climáticas para el área durante el Pleistoceno tardío-Holoceno.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a F. Schäbitz por facilitarnos los datos polínicos superficiales. A M. M. Bianchi y F. Schäbitz por sus comentarios y sugerencias como árbitros de la revista. Este trabajo se realizó con los subsidios UNMDP 15/E138 y FONCYT PICT 07-06477/99.

BIBLIOGRAFÍA

- Bailey, R.G. 1989. Ecoregions of the Continents. *Environmental Conservation* 16(4).
- Barros, V., M.E. Castañeda & M. Doyle. 1996. Recent precipitation trends in Southern South America to the east of the Andes: an indication of a mode of climatic variability. Greenhouse gas emissions under developing countries point of view. *Latin-American Workshop on Greenhouse Gas Emission of Energy Sector and their Impacts* (Rio de Janeiro), Proc. 41-76.
- Bartlein, P.J., C. Prentice & T. Webb III. 1986. Climatic response surfaces from pollen data for some eastern North American taxa. *Journal of Biogeogr.* 13:35-57.
- Bartlein, P.J., T. Webb III & E. Fleri. 1984. Holocene Climatic Change in the Northern Midwest: Pollen-Derived Estimates. *Quaternary Research* 22:361-374.
- Bonnadonna, F.P., G. Leone & G. Zanchetta. 1999. Stable isotope analyses on the last 30 ka molluscan fauna from Pampa grassland, Bonaerense region, Argentina. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Paleocol.* 153:289-308.
- Burgos, J.J. 1968. El clima de la provincia de Buenos Aires en relación con la vegetación y el suelo. En: A.L. Cabrera (ed.), *Flora de la Provincia de Buenos Aires. Parte I.* Colección Científica INTA, pp. 101-123.
- Burgos, J.J. & A.L. Vidal. 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornwaite. *Meteoros* 1:1-32.
- Cabrera, A.L. 1941. *Las comunidades vegetales de las dunas costaneras de la provincia de Buenos Aires.* DAGI Publicaciones Técnicas. Dirección de Agricultura, Ganadería e Industrias. Ministerio de Obras Públicas. Tomo I, N° 2, 43 pp.
- 1951. Territorios fitogeográficos de la República Argentina. *Soc. Arg. Bot.* 4:21-65.
- 1968. Vegetación de la Provincia de Buenos Aires. En: A.L. Cabrera (ed.), *Flora de la provincia de Buenos Aires. Parte I.* Colección Científica INTA, pp. 101-123, Buenos Aires.
- 1976. *Regiones fitogeográficas argentinas.* Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Editorial Acme, Buenos Aires, 85 pp.
- Cano, E., B. Fernández & M. Montes. 1980. Vegetación. En: E. Cano (ed), *Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de La Pampa.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Provincia de La Pampa, Buenos Aires, 493 pp.
- Frenguelli, J. 1940. *Rasgos principales de Fitogeografía Argentina.* Publicaciones Didácticas y de Divulgación Científica del Museo de La Plata N° 2, 119 pp.
- Grimm, E. 1991. *Tilia Software.* Illinois State Museum. Research & Collection Center. Springfield, Illinois.
- Guiot, J., J.L. de Beaulieu, R. Cheddadi, F. David, P. Poneil & M. Reille. 1993. The climate in Western Europe during the last Glacial/InterGlacial cycle derived from pollen and insect remains. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 103:73-93.
- Hoffman, J.A.J. 1975. *Atlas climatológico de América del Sur.* OMM-WMO-UNESCO, Hungría.
- Iriondo, M.H. & N.O. García. 1993. Climatic variations in Argentine plains during the last 18.000 years. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 101:209-220.
- Krepper, C.M., B.V. Scian & J. Pierini. 1987. Variabilidad de la precipitación en la región sudoccidental pampeana. 2° Congr. Interamer. Meteorol. y 5° Congr. Arg. Meteorol. (Buenos Aires), Actas 12.2.1-5.
- Lamberto, S. 1987. Vegetación Natural. En: INTA (ed.), *Evaluación expeditiva del recurso suelo y uso y cobertura de la tierra en el sur de la provincia de Buenos Aires.* Informe técnico 28:51-75.
- Leemans, R. & W.P. Cramer. 1991. The IIASA Database from Mean Monthly Values of Temperature, Precipitation, and Cloudiness on a Global Terrestrial Grid. *International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.* RR-91-18.
- Lemcoff, J.H. 1991. Climate. En: Coupland (ed), *Eco-*

- systems of the World 8A. *Natural Grasslands. Introduction and Western Hemisphere*, pp. 376-377.
- León, R.J.C. 1991. Vegetation. En: Coupland (ed), *Ecosystems of the World 8A. Natural Grasslands. Introduction and Western Hemisphere*, pp. 380-387.
- León, R.J.C. & D.L. Anderson. 1983. El límite occidental del pastizal pampeano. *Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft. Tuexenia n.s.* 3:67-83.
- León, R.J.C., G.M. Rush & M. Oesterheld. 1984. Pastizales pampeanos-impacto agropecuario. *Phytocoenologia* 12: 210-218.
- Markgraf, V., R.S. Webb, K.H. Anderson & L. Anderson. 2002. Modern pollen/climate calibration for southern South America. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 181:375-397.
- Paez, M.M., F. Schäbitz & S. Stutz. 2001. Modern pollen-vegetation and isopoll maps in southern Argentina. *Journal of Biogeography* 28:997-1021.
- Parodi, L.R. 1940. Los bosques naturales de la Provincia de Buenos Aires. *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Anales* 30:387-397.
- Paruelo, J.M., E.G. Jobbágy & O.E. Sala. 2001. Current Distribution of Ecosystem Functional Types in Temperate South America. *Ecosystems* 4:683-698.
- Prentice, I.C., C. Wolfgang, S.P. Harrison, R. Leemans, R.A. Monserud & A.M. Solomon. 1992. A global Biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *Journal of Biogeography* 19:117-134.
- Prieto, A.R. 1996. Late Quaternary vegetational and climatic changes in the Pampa grassland of Argentina. *Quaternary Research* 45:73-88.
- 2000. Vegetational history of the Late glacial-Holocene transition in the grassland of eastern Argentina. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 157:167-188.
- Prohaska, F. 1976. The climate of Argentina, Paraguay and Uruguay. En: W. Schwerdtfeger (ed.), *Climates of Central and South America*. Elsevier, Amsterdam, pp. 13-112.
- Schäbitz, F. 1999. Paläoökologische Untersuchungen an geschlossenen Hohlformen in den Trockengebieten Patagoniens. *Bamberger Geographische Schriften* [Bd.] 17.
- 2003. Estudios polínicos del Cuaternario en las regiones áridas del sur de Argentina. *Rev. Mus. Argentino Cienc. Nat. n.s.*, 5:291-299.
- Schäbitz, F. & E. Liebricht. 1998. Landscape and climate development in the southeastern part of the "Arid Diagonal" during the last 13,000 years. *Bamberger Geographische Schriften Bd.* 15:371-388.
- Servicio Meteorológico Nacional. 1969. *Estadísticas Climatológicas 1951-1960*. Buenos Aires, Publ. B1(6).
- 1985. *Estadísticas Climatológicas 1961-1970*. Buenos Aires, Publ. 35.
- 1986. *Estadísticas Climatológicas 1971-1980*. Buenos Aires, Publ. 36.
- Tarasov, P.E., V.S. Volkova, T. Webb III, J. Guiot, A.A. Andreev, L.G. Besusko, T.V. Besusko, G.V. Bykova, N.I. Dorofeyuk, E.V. Kvavadze, I.M. Osipova, N.K. Panova & D.V. Sevastyanov. 2000. Last glacial maximum biomes reconstructed from pollen and plant macrofossil data from northern Eurasia. *Journal of Biogeography* 27:609-620.
- Thorntwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38:55-94.
- Tonni, E.P., A. Cione & A. Figini. 1999. Predominance of arid climates indicated by mammals in the pampas of Argentina during the Late Pleistocene and Holocene. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 147:257-281.
- Verettoni, H.N. & E. Aramayo. 1976. *Las comunidades vegetales de la región de Bahía Blanca*. Harris y Cía. SRL (ed), Bahía Blanca, 175 pp.
- Vervoort, F.B. 1967. *Las comunidades vegetales de la Depresión del Salado*. La Vegetación de la República Argentina. INTA, Serie Fitogeográfica Nº 7, Buenos Aires, 262 pp.
- Zárate, M., R.A. Kemp, M. Espinosa & L. Ferrero. 2000. Pedosedimentary and palaeoenvironmental significance of a Holocene alluvial sequence in the southern Pampas, Argentina. *The Holocene* 10:481-488.

Recibido: 18-VII-2003

Aceptado: 27-X-2003