



EFFECTOS ENSO EN LA TRANSICION ENTRE EL ESPINAL Y LA PRADERA CULTIVADA EN LA DIAGONAL SUDAMERICANA, ARGENTINA CENTRAL

*ENSO Effects on the Shrubland-to-Cropland trend across the South American Diagonal, Central Argentina**

Federico I. Isla ⁽¹⁾, Eduardo Ruiz Barlett ⁽²⁾, Jorge Marquez ⁽²⁾ y Abel Urrutia ⁽²⁾

(1) CONICET, Centro de Geología de Costas y del Cuaternario, Universidad Nacional de Mar del Plata, casilla de correo 722, 7600 Mar del Plata, Argentina.

(2) Grupo de Sensores Remotos, Fuerza Aérea Argentina, CELPA, Mar Chiquita, Argentina. e-mail y fax del primer autor: fisla@mdp.edu.ar, 54.223.4753150

Resumen: La Pampa Occidental o Arenosa en la Argentina Central se extiende en el ecotono entre el arbustal xerofítico (espinal) y el pastizal pampeano. Al mismo tiempo esta región está sujeta a anomalías positivas durante años ENSO. Esta área, estudiada por imágenes de diferente resolución espacial y temporal, está sujeta a un alto stress agronómico debido a cambios en el uso del suelo del espinal natural a praderas cultivadas. Esta llanura (cubierta por dunas transversales heredadas de la Glaciación Wisconsin) está dominada por vientos del oeste sin efectos topográficos en la distribución de precipitaciones. Las lluvias aumentan de 400 a 900 mm/año hacia el este (Océano Atlántico). Utilizando imágenes compuestas Landsat TM, se ha evaluado la deforestación del espinal y su transformación en praderas cultivadas. Los cambios en el uso del suelo inducidos por el hombre pudieron ser reconocidos comparando imágenes Landsat MSS de los años 80 con imágenes TM de los años 1998-1999. Utilizando índices de diferencia de vegetación normalizados (NDVI) de imágenes NOAA de invierno (preferentemente de julio) suavizadas con un filtro de filtro de media, se pudo diferenciar entre “años normales” (1995,1999) y “años ENSO” (1998). En “años normales” el NDVI tuvo valores bajos mientras que durante “inviernos ENSO” este índice alcanzó valores significativamente más altos. Los Bañados de La Amarga (cuenca de drenaje centrípeta del Río Quinto) es particularmente sensible a estos efectos interanuales. Los cambios en el uso del suelo están induciendo cambios imprevisibles en relación a la conservación de suelos y alteraciones en los balances hidrológicos.

Palabras clave: Efectos ENSO - espinal - Holoceno – Pampa Arenosa - Argentina.

Abstract: The Western or Sandy Pampa of Central Argentina lies on the ecotone between the xerohyctic woodland (“espinal”) and the grassland prairie. At the same time this region is subject to wet rainfall anomalies during ENSO years. This particular area, studied by images of different spatial and temporal resolution, is under a high agronomic pressure due to land-use changes from shrubland into cropland. This plain (covered by scattered transverse dunes inherited from the Wisconsinan Glaciation) is dominated by westerly winds with no topographic effects in the rainfall distribution. Precipitation increases to the east (Atlantic Ocean) from 400 to 900 mm/year. By the mean of composite Landsat TM images, the deforestation of the shrubland into crop fields was evaluated. This man-induced land-cover change could be followed comparing Landsat MSS images from the '80 with TM images of 1998-1999. By the mean of Normalized Difference Vegetation indexes (NDVI) performed on NOAA images from winter (July) and filtered by a mean kernel, it can be recognized the different patterns between “normal years” (1995,1999) and “ENSO years” (1998). In “normal years” the NDVI had low values while during “ENSO winters” the greenness was significantly higher. The wetlands “Bañados de La Amarga”, centripetal drainage basin of the Quinto river, is particularly sensitive to these interannual effects. These land-use changes are inducing unpredicted consequences in relation to soil conservation and alterations in the hydrological budgets.

Key words: ENSO effects – shrubland – Holocene- Sandy Pampa - Argentina.



Isla, F.I., Ruiz, E., Marquez, J. y Urrutia, A. (2003). Efectos ENSO en la transición entre el espinal y la pradera cultivada en la Diagonal Sudamericana, Argentina Central. *Rev. C. & G.*, 17 (1-2), 63-74.

1. Introducción

Vivimos en una biosfera sin análogos donde los cambios que provocamos no podemos distinguirlos de lo que hoy llamamos Variabilidad Histórica. En algunas regiones (e.g. Europa, África) el Holoceno es un período donde ya se produjeron cambios inducidos por el hombre. La introducción de la agricultura es considerada como la mayor transformación de la historia de la humanidad. En el nuevo mundo esos cambios son muy modernos, muy rápidos, sin registros históricos prolongados, y con un registro arqueológico muy incompleto. Prácticas agrícolas como el desmonte, la irrigación o el uso del fuego

aceleran el ritmo de avance de la frontera agrícola en estos países, y sus consecuencias no han sido visualizadas aún (Wasson, 1996). Normalmente la agricultura conlleva la sustitución de las especies nativas por comunidades de plantas o animales manejables o domesticados. Al suprimirse la competencia por luz, agua y minerales se provoca la remoción de especies arbóreas y arbustos nativos por cereales, alterando la sucesión ecológica natural. Si bien la agricultura favorece la productividad en el corto plazo, origina desbalances como la deforestación, erosión de suelos y pérdida de nutrientes, esto limita la sustentabilidad de este nuevo sistema orientado a la producción de alimentos (Redman, 2000).

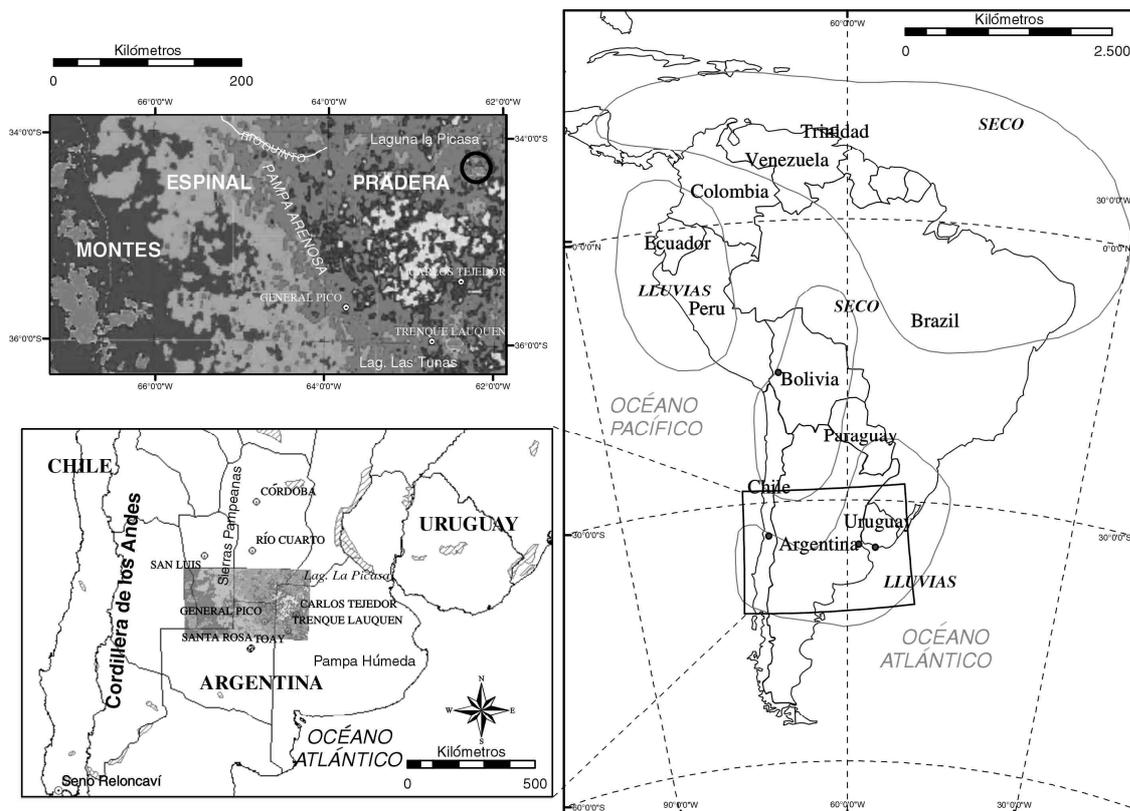


Figura 1. Ubicación de la zona en estudio, unidades de vegetación de la Pampa Arenosa y las regiones con anomalías climáticas ENSO en Sudamérica.

Figure 1. Location of the study area, indicating vegetation types of the Sandy Pampa and ENSO climatic anomalies in South America.

Sudamérica es un continente particular en donde los ecotonos no siguen un sentido latitudinal, como sucede en otras regiones, e.g. la región del Sahel-Sudán (Hanan, 1996) o de Miombo (Frost y Desanker, 1996). La llamada "Diagonal Árida Sudamericana" atraviesa el continente en sentido NO-SE y en la llanura pampeana separa hacia el occidente ambientes con menores precipitaciones y hacia el este zonas con mayores efectos de lluvias provenientes del Atlántico (Fig. 1); la Cordillera de los Andes impide topográficamente los efectos de humedad proveniente del Océano Pacífico. Este diseño climático "en diagonal" surge claramente de mapas temáticos donde se grafica el número de meses con precipitaciones por encima de 40 mm (Lottes y Ziegler, 1994), o en mapas de unidades de vegetación (Schabitz, 1994, entre otros).

Los eventos ENSO (siglas en inglés de El Niño-Oscilación del Sur), han sido detectados en Argentina en registros de caudales del Río Paraná (Depetris et al., 1996), y también en pequeñas cuencas de las Sierras Pampeanas (Herrero, 2000). Cultivos como el maíz, trigo, soja, girasol y cebada son afectados beneficiosamente durante años ENSO (Rodríguez et al., 2001). El límite aridez-humedad ha variado anualmente en sentido E-O en reiteradas oportunidades (Dillon et al., 1985). En la Pampa arenosa, las anomalías de precipitación superiores a las medias son evidentes para noviembre y diciembre (Rodríguez et al. 2001).

En Argentina, el desmonte del espinal puede ser juzgado como un proceso económicamente positivo porque aumenta la productividad de la Pampa Seca. Este proceso, no obstante, significa la pérdida de la cubierta que evitaba naturalmente los efectos de deflación inducidos por los vientos persistentes del oeste. Las prácticas agrícolas significan el arado periódico que promueve los efectos de estos vientos "pamperos". Los cambios en el uso del suelo además condicionan la biodiversidad al reducir la disponibilidad de habitats para algunas especies; estos procesos están afectado algunos biomas como el bosque tropical y el bosque templado del Hemisferio Sur (Sala y Chapin, 2000); particularmente la Pampa Arenosa ha sido analizada por la fragmentación de praderas naturales que minimiza los habitats de los venados de las pampas (Bilencia, 2000). Estos cambios en el ambiente pueden ser evaluados simultáneamente en tiempo y

espacio a través del análisis del paisaje que se ofrece como una metodología común para disciplinas diversas como la geografía, arqueología, ecología, geomorfología y el planeamiento arquitectónico (Crumley, 2000).

En el presente trabajo se ha analizado a través de imágenes satelitales los cambios en el uso del suelo provocados por la actividad humana en la frontera entre el espinal y la pradera cultivada. Los procesos de fragmentación del espinal fueron evaluados comparando imágenes de detalle de 1983 y de 1998-99. Los efectos interanuales en la abundancia de precipitaciones que confunden la tendencia de aumento hacia el Este (de 400 a 900 mm/año), conocidos como eventos ENSO, han sido evaluados a través de imágenes de invierno del satélite NOAA 14 y utilizando estadísticas climáticas.

2. Caracterización de la Pampa Arenosa

El área de estudio es un rectángulo limitado aproximadamente por los paralelos 33 y 37° S, y entre los meridianos 62 y 66° O (Fig. 1), abarcando parcialmente las provincias de San Luis, Córdoba, La Pampa, Santa Fe y Buenos Aires. Para este estudio de la evolución de la transición entre estos biomas, se seleccionó particularmente la cuenca de los Bañados de La Amarga porque no está mayormente influenciada por efectos topográficos (como las sierras del sur de Córdoba y San Luis) o por drenajes condicionados por tectonismo (valles tectónicos del sur de La Pampa; ver Fig. 1).

En cuanto a las precipitaciones se reconoce un incremento de Oeste a Este de 400 a 900 mm/año (Peña Zubiato et al., 1998; San Cristóbal y Kruse, 1999). Los registros históricos de Trenque Lauquen indican un aumento general de las lluvias anuales.

La región posee características contrastantes como la presencia de campos de médanos vecinos a lagunas permanentes. Morfológicamente, en el Partido de Carlos Tejedor y Trenque Lauquen (Provincia de Buenos Aires) se han identificado médanos, mantos de arena, mantos someros, depresiones intermedanosas y cubetas de deflación (Fig. 2). Los médanos son muy conspicuos, transversales, con sentido N-S en

forma de arco. Se extienden por distancias de hasta 100 km (N-S), anchos de 0,8-1 km, distanciamiento entre ellos de 2-5 km y alturas de unos 3 m (Dillon et al., 1985). Se han descrito cuatro unidades litoestratigráficas y cuatro paleosuelos. Los limos compactos de la Formación Epecuén han sido reconocidos a diferentes profundidades (Dillon et al., 1985). Las arenas finas a limosas de la Formación Hereford han sido atribuidas al Pleistoceno superior. Por encima se han reconocido los limos arcillo-arenosos a limos-arcillosos de la Formación Carlos Tejedor. Posiblemente se correspondan con los extendidos y característicos niveles de origen áeico "lujanenses" que caracterizan el Pleistoceno final en la provincia de Buenos Aires. Remata la secuencia con la depositación de arenas finas eólicas de la Formación Las Lilas (Holoceno). Dos miembros han sido diferenciados: el inferior Santa Inés, y el superior, Seré; este último sería de edad posthispanica conteniendo un nivel de ceniza volcánica que se correspondería a la que cubrió la Provincia de Buenos Aires en 1932, en ocasión de la erupción

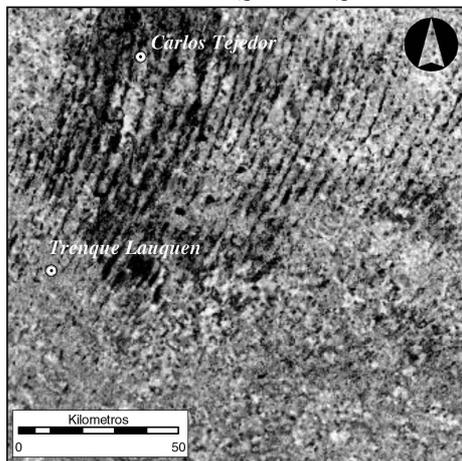
del volcán Quizapú (Dillon et al., 1985). La variabilidad climática de la región ha sido atribuida también por el reconocimiento de varios paleosuelos: el Geosol Aguará sobre la Formación Hereford, el Geosol La Maroma en el tope de la Formación Carlos Tejedor, el Geosol La Cabaña en el Miembro Santa Inés y el suelo actual sobre el miembro Seré (Hurtado et al., 1985). Hacia el centro de la Provincia de San Luis se han detectado 3 mantos arenosos (margen norte de la laguna de Sayapé); entre el inferior y el medio se distingue una capa de ceniza volcánica verde (Frenguelli, 1931).

En la región los suelos son arenosos y hasta pedregosos en algunos sectores. Existen afloramientos rocosos en las provincias de San Luis y La Pampa. Localmente la capacidad de campo y de marchitez de los suelos es baja (Falasca et al., 1999).

Los Bañados de La Amarga constituyen un humedal (*wetland*) donde se insume el Río Quinto que nace en la Sierra de San Luis. Esta cuenca de drenaje centrípeta se ubica entre el sur de Córdoba y norte de la Pampa, y ha sido muy alterada por canales que pretendieron derivar el exceso episódico de lluvias. Fuera de esta cuenca y formando parte de esta alineación de lagunas centrípetas se pueden mencionar la Laguna La Brava (Sur de Córdoba) y las lagunas Las Tunas Grandes y Chicas (proximidades de Trenque Lauquen)(ver Figura 2). En el suroeste de Córdoba, las lagunas de origen eólico están orientadas en el sentido NE-SO de las dunas intermedanas longitudinales; existen otras de origen tectónico, mixto (tectónico-eólico) y fluvial (Cantú y Degiovanni, 1987). El Río Quinto se habría conectado por el SE, a través del complejo de lagunas (La Amarga, NO de Buenos Aires), con la cuenca del Río Salado (Buenos Aires) en ocasión de las grandes inundaciones de 1903 (González Díaz, 1981).

El espinal o arbustal conforma una provincia fitogeográfica que se extiende en sentido Norte-Sur, separando el pastizal pampeano hacia el Este y el monte hacia el Oeste (Fig. 1). A su vez, dados los efectos eólicos que se produjeron preferentemente durante el Pleistoceno, pero que también se dieron en el Holoceno, existe una transición entre suelos arenosos hacia el Oeste y suelos loésicos hacia el Este (Zárate y Blasi, 1993).

FLUCTUACIONES DE LAGUNAS Y DUNAS EN EL AREADE TRENQUE LAUQUEN



Imágen MSS LANDSAT
10 de abril de 1984

Imágen MSS del Centro de Sensores Remotos

Figura 2. Lineaciones eólicas al norte de la localidad de Trenque Lauquen. Imagen Landsat TM, del 19 de abril de 1999 (tamaño de píxel: 30 m).

Figure 2. Aeolian lineations north of the Trenque Lauquen city. Landsat TM image form April 19, 1999 (pixel size: 30 m).

3. Métodos

3.1. Análisis del paisaje

Se realizó una recopilación de descripciones actuales e históricas sobre diferentes localidades de este amplio sector del centro de Argentina. Se utilizaron imágenes Landsat 5 TM a efecto de reconocer formas transversales y paralelas a los vientos dominantes del Oeste o “pamperos”.

3.2. Fragmentación del espinal

Los procesos de fragmentación del espinal debido a prácticas agrícolas han sido evaluados comparando imágenes del satélite Landsat 4, sensor MSS (resolución 79 m), de 1983 (junio), e imágenes del Landsat 5, sensor TM (resolución 30 m) de los años 1998 (septiembre) y 1999 (abril). Se combinaron las bandas 2, 3 y 4 (verde, roja e infrarroja) en una imagen falso color compuesta con 5% de saturación lineal (Tabla 1). Se cortaron subimágenes (de aproximadamente 250 x 200 pixels) de la zona al oeste de Toay para evaluar los efectos episódicos en pequeñas lagunas de ese sector.

3.3. Índices de vegetación y variaciones interanuales

Las imágenes del satélite NOAA 14 en formato LAC (“*Local Area Coverage*”) fueron combinadas para obtener índices de diferencia de vegetación normalizados (NDVI) escalados entre valores de 0 y 160. Posteriormente se cortaron subimágenes (de aproximadamente 210 líneas y 450 columnas) de la zona donde más claramente se presenta la transición entre el espinal al oeste y los Bañados de La Amarga al este, dejando como referencia las lagunas la Brava (al NE) y de las Tunas (al SE). Estas subimágenes fueron procesadas según un filtro de media 5x5. Los efectos interanuales en el NDVI fueron evaluados en curvas acumulativas de las subimágenes filtradas.

Se dispuso de estadísticas de precipitación en cinco estaciones de la región: San Luis, Córdoba, Río Cuarto, Santa Rosa y Trenque Lauquen (Fig. 1). Algunas se extienden hasta 60 años de mediciones (1931-1990; San Luis, Trenque Lauquen), otras abarcan períodos más cortos. Se obtuvieron las medias mensuales, para luego calcular las desviaciones respecto de esos valores medios. Esto permitió reconocer los eventos máximos positivos (ENSOs), que normalmente ocurren en los meses de verano.

Tabla 1. Datos de las imágenes y del procesado utilizado.
Table 1. Image data and image-processing techniques.

SATELITE SENSOR	FECHA	PROCESADO	RES. ESPACIAL (m)	COBERTURA Path-Row
NOAA14	3 JUL95	NDVI filtro media 5x5	1100	San Luis-Buenos Aires
NOAA14	JUL96	“	1100	“
NOAA14	30 JUN 97	“	1100	“
NOAA14	8 JUL98	“	1100	“
NOAA14	25 JUL99	“	1100	“
NOAA14	23 JUL00	“	1100	“
LANDSAT 4 MSS	8 SET83	compuesta 457	79	226-85
LANDSAT 4 MSS	10 ABR 84	“	79	227-85
LANDSAT 4 MSS	10 MAY 83	“	79	228-86
LANDSAT 4 MSS	27 MAR 85	“	79	228-86
LANDSAT 4 MSS	3 ENE 84	“	79	229-84
LANDSAT 4 MSS	9 JUN 83	“	79	229-85
LANDSAT 3 MSS	21 DIC 80		79	245-84
LANDSAT 3 MSS	25 ENE 82		79	246-86
LANDSAT 5 TM	14 SET98	compuesta 234	30	Victorica, Castex, Caleufu
LANDSAT 5 TM	19 ABR 99	compuesta 234	30	G. Pico, S. Rosa. T. Lauquen

4. Resultados

4.1. Análisis del paisaje

A través de las imágenes TM se pudo realizar un análisis morfológico reconociendo los médanos transversales (Fig. 2) que estuvieron activos durante el pasado en la zona de Trenque Lauquen (Buenos Aires) y que también se distinguen aunque desdibujados en las cercanías de Gral. Pico (La Pampa). Estos médanos han originado lagunas orientadas N-S que se inundan en ocasión de mayor frecuencia de lluvias. Hacia el noroeste (suroeste de Córdoba) los ambientes eólicos persisten aunque las formas no son tan evidentes (Cantú y Degiovanni, 1984). En la "llanura medanosa del Río Quinto" se detectaron dunas longitudinales (con rumbo NE-SO y de edad holocena), dunas parabólicas (retrabajo de las anteriores durante el siglo XIX por vientos del NE) y cadenas barjanoides (también originadas durante los últimos 50 años por vientos del NE; Blarasín y Sánchez, 1987).

Hacia el oeste se extiende la Planicie Medanosa del Sur de San Luis (González Díaz, 1981), largas lomadas mal definidas de hasta 30-40 m con rumbo general NNO-SSE con amplias depresiones entre ellas, y donde se dan lagunas o barriales alineados. En esta zona las modernas movilizaciones de arena se atribuyen al inadecuado manejo de los suelos (González Díaz, 1981).

Hacia el sur (al Norte de Santa Rosa, La Pampa) otras lineaciones con orientación NE-SO constituyen acumulaciones eólicas aproximadamente paralelas a los vientos pamperos. Estas acumulaciones también poseen lagunas asociadas orientadas en la misma dirección NE-SO (Fig. 3).

4.2. Fragmentación del espinal

En imágenes TM compuestas las áreas cultivadas fueron resaltadas respecto al espinal (ver Fig. 4). Comparando las imágenes falso color compuestas de septiembre de 1998 y abril de 1999 se pudo observar que en las de primavera la vegetación era más abundante. Apesar de ello, en las imágenes del otoño siguiente (abril de 1999), se reconoció que las lagunas poseían más agua (Fig. 3).

INUNDACIONES DE CULTIVOS Y RUTAS



Imágen TM LANDSAT
14/09/1998

Imágenes MSS del Centro de Sensores Remotos
Imágenes TM de CONAE



Imágen TM LANDSAT
15/04/1999

Figura 3. a) La imagen compuesta (BGR 234) del 14 de septiembre de 1998 indica mayor abundancia de vegetación (colores grises) al norte de Santa Rosa (La Pampa; Fig. 1). El campo grande al SW está cubierto por arbustos. b) El 15 de abril de 1999, la vegetación era menos "verde" y la cantidad de agua era mayor. La laguna permanente (alargada en sentido NE-SO) ha aumentado su superficie, y la otra depresión alineada al NE está cubierta de agua afectando uno de los caminos de la región.

Figure 3. a) The composite image (BGR 234) from September 14, 1998, indicate more vegetation (gray colors) north of Santa Rosa city (La Pampa Province; Fig. 1). The large field to the SW corner is covered by shrubs. b) On April 15, 1999, vegetation was less "green" with more water in the region. The permanent pond (extended in the NE-SW direction) has increased in area, and another depression aligned to the NE is covered by water and flooding one of the routes of the region.

FRAGMENTACIÓN DELESPINAL

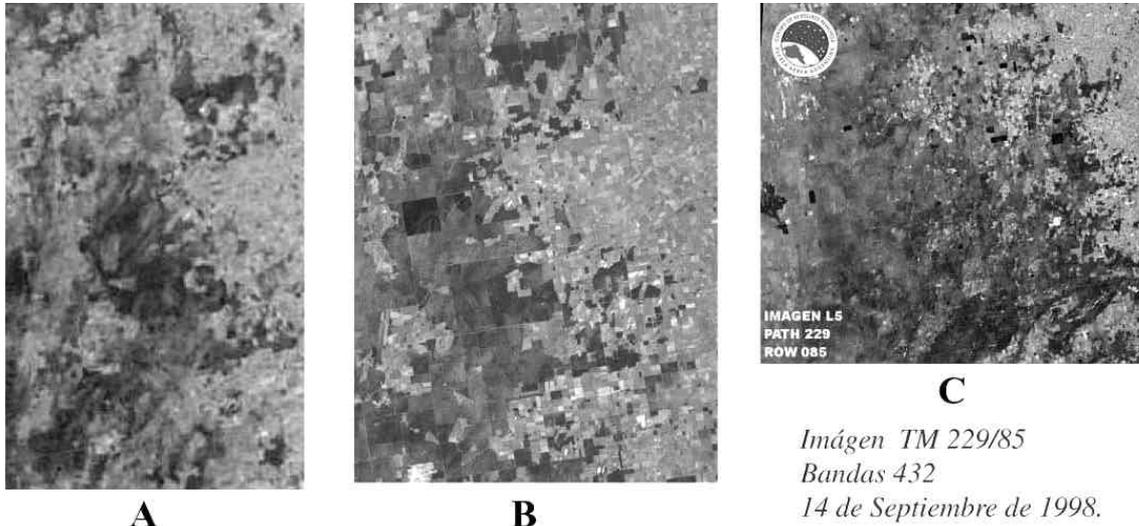


Figura 4. Procesos de fragmentación del espinal por expansión agrícola. A) Imagen MSS del Landsat 4 del 9 de junio de 1983. B) Detalle de imagen TM del Landsat 5, compuesta (BGR 234) del 14 de septiembre de 1998. C) Imagen completa del mismo día. Los colores claros corresponden a las praderas cultivadas mientras que hacia el oeste el espinal permanece con colores oscuros. Los cuadrados más oscuros en la imagen del centro son campos quemados recientemente.

Figure 4. Fragmentation processes of the shrubland by agriculture expansion. A) Landsat 4 MSS image from June 9, 1983. B) Detail of the Landsat 5 TM composite (BGR 234) image from September 14, 1998. C) Full image from the same day. Light-colored areas correspond to crop fields while darker areas to the west are covered by shrubs. The fields of darker colors were burnt in the days previous.

4.3. Índices de vegetación y variaciones interanuales

A través de las ventanas NOAA se evaluó la tendencia de un aumento del índice de vegetación durante años “normales” de 1995 a 1999 (Fig. 5). Por otra parte, se reconocieron aumentos significativos del NDVI durante años ENSO, e.g. 1998. De Oeste a Este se reconoce una disminución de la variación anual en las precipitaciones, y un aumento en los valores máximos respecto a los promedios mensuales durante períodos particularmente lluviosos y asignables a años ENSO (Tabla 2). Los eventos ENSO mejor reconocidos fueron los de 1932 (enero a marzo), 1940 (diciembre), 1972 (noviembre a diciembre), 1976 (noviembre a diciembre) y 1983 (enero a marzo) (Fig. 6).

Las curvas acumulativas de los valores de NDVI obtenidos en las subimágenes sirvió para reconocer en sus pendientes años ENSO-positivos (húmedos) y años normales (Fig. 7).

5. Discusión

Las inundaciones de los años 1998 y 1999 en los departamentos del sur de Córdoba han sido

temporalmente analizadas por el personal del INTA Manfredi (Gorgas et al., 2000). Las pedanías más afectadas fueron las de La Amarga, Italó y San Martín, aunque las de menor tamaño como San Martín y La Paz fueron las más afectadas en proporción. En mayo de 1998, 400.000 has habían sido anegadas en el sur de Córdoba, las pedanías de La Amarga e Italó las más afectadas. En noviembre de ese año, 200.000 has permanecían bajo el agua. En abril de 1999, 150.000 has estaban inundadas; al mes siguiente eran 300.000, y en noviembre 260.000 has permanecían bajo agua. En marzo del 2000, 94.000 has seguían afectadas (Gorgas et al. 2000). Los excesos de agua de estas inundaciones de 1998-99 fueron desviados desde La Amarga (Córdoba) hacia el NE de la Provincia de La Pampa, desde allí fueron desviadas hacia el Partido de Villegas (Laguna La Dulce) y por el Canal Bidaña llegaron al Complejo de lagunas Hinojotunas (Partido de Trenque Lauquen) que aumentó de 12.000 a 30.000 hectáreas.

En otros continentes se han efectuado estudios de las fluctuaciones de los ambientes y comunidades vegetales (Tucker et al., 1991) y hasta se ha procurado prever tendencias en el futuro (Overpeck et al., 1991; Woodward y Steffen,

1996). En el continente sudamericano estos modelos son difícilmente aplicables dado el “ruido” interanual inducido por los efectos ENSO.

¿Desde cuando estos eventos ENSO han sido importantes? Registros históricos han probado sus efectos durante el Virreinato en el Perú desde el año 1525-26 (Hacquenhem y Ortlieb, 1992; Ortlieb y Macharé, 1993). En la cuenca del Plata, la primera referencia a grandes y extendidas inundaciones la debemos a Domingo Martínez de Irala: “...que fue Dios servido de dar aquel año tantas aguas, que como la tierra es baja y despoblada, se hicieron tan grandes pantanos que en 18 días que caminamos por ellos jamás salimos del agua hasta la cinta, y aún acaecernos día de no hallar donde guisar de comer” (1545). En la provincia de Buenos Aires, las inundaciones ocurridas durante el Virreinato del Río de la Plata (1776-1810; García Belsunce, 1988) tuvieron una recurrencia intera-

nual seguramente influenciada por los efectos ENSO similares a los descritos en este trabajo. En tiempos históricos, en los años previos a la Segunda Expedición de exterminio de los indios (1869-1870), La Amarga (Ramada Nueva o Trapalcó como la llamaban los indios) no era una gran laguna sino un gran cañadón (Mansilla, 1870). Más recientemente, grandes inundaciones (1903, 1913) y grandes sequías (1952) se han sucedido con recurrencia interanual en toda la planicie pampeana (Barsky y Gelman, 2001).

Se ha propuesto que la intensidad de estos eventos ENSO ha sido menor en el pasado. Originalmente esto se postuló a través de modelos basados en las variaciones orbitales en la insolación estacional (Cane et al., 2000). Variaciones en las relaciones isotópicas de corales del Pacífico Oriental y de la Gran Barrera de Coral de Australia sugieren esta disminución en los picos ENSO con

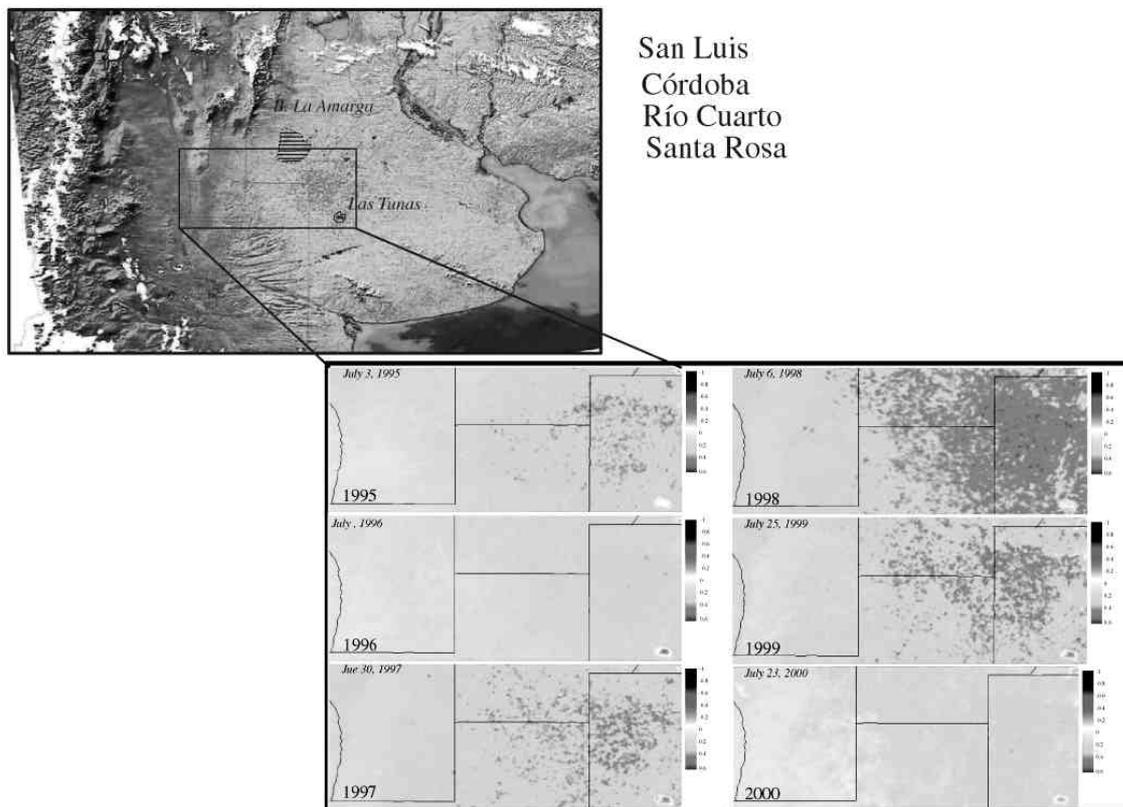


Figura 5. Subimágenes NDVI de imágenes AVHRR NOAA de la cuenca de los Bañados de La Amarga. Las líneas negras son límites de provincias (los índices NDVI fueron calculados entre 0 y 160).

Figure 5. NDVI subimages of the original NOAA (sensor AVHRR) of the watershed of Bañados de La Amarga. Black lines are boundaries between provinces (NDVI data were calculated between 0 and 160).

anterioridad a los 6000 años AP(Cane et al., 2000). En el sudoeste de Estados Unidos (estados de Arizona y UTA), una cronología de inundaciones extremas y cambios climáticos indica que entre 4800 y 3600 AP el clima era más frío y húmedo y que las inundaciones más frecuentes en relación a eventos ENSO (Ely et al., 1993). Registros de cronología flotante ejecutados en anillos de árboles de

Fitzroya cupressoides del Seno Reloncaví (sur de Chile) indicaron que el sistema ENSO probablemente operaba durante el Pleistoceno Medio y Tardío (Roig et al., 2001). De acuerdo a registros de corales de Papúa-Nueva Guinea, estos eventos interanuales también habrían ocurrido durante épocas glaciales, pero más atenuados en relación a sus efectos modernos (Tudhope et al., 2001).

Tabla 2. Valores máximos de precipitación durante eventos ENSO (mm/mes) respecto a los promedios mensuales.
 Table 2. Maximum Precipitation data during ENSO events (mm/month) in relation to average precipitation per month.

	San Luis	Santa Rosa	Río Cuarto	Córdoba	T. Lauquen
1932 (ene-mar)	73	Sin datos	102	Sin datos	149
1940 (dic)	100	Sin datos	Sin datos	Sin datos	92
1972 (nov-dic)	89	149	173	179	138
1976 (nov-dic)	123	194	82	126	128
1983 (ene-mar)	113	-	95	-	91
PROM. MES	47,43	53,99	68,32	63,37	63,84

“El NIÑO, reconocido por desviación de la media mensual de las precipitaciones”

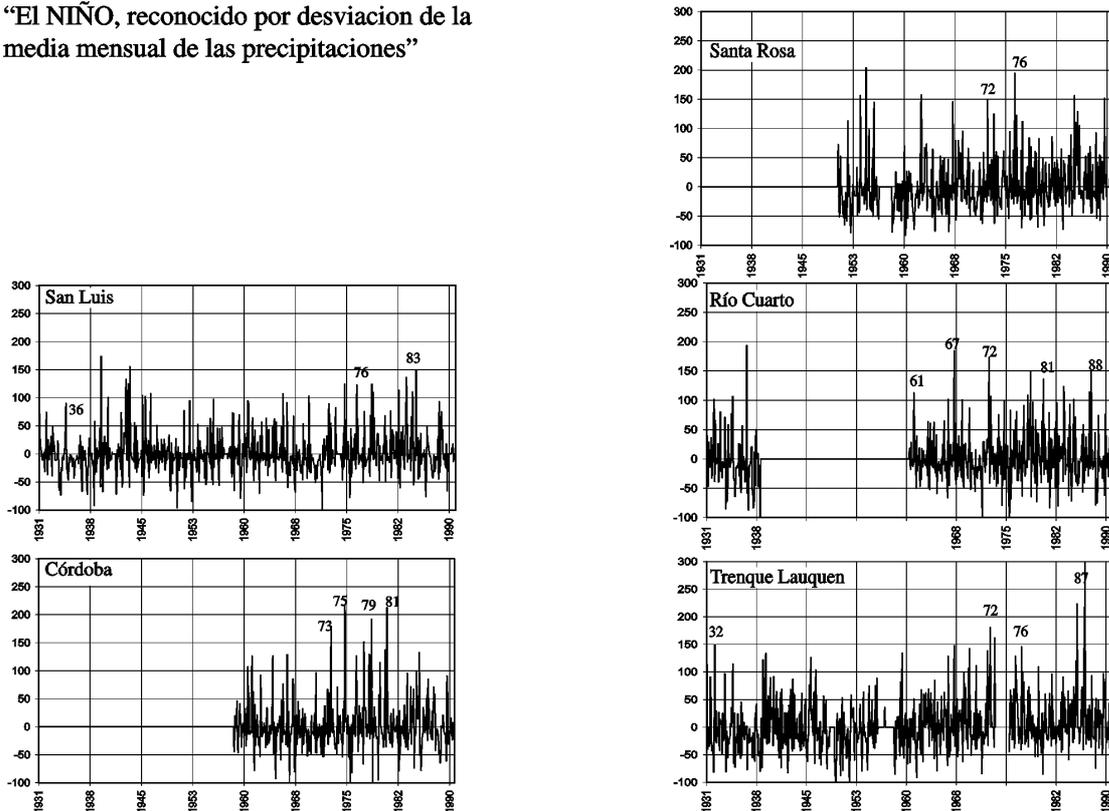


Figura 6. Desviaciones de las precipitaciones (en mm) respecto a la media mensual en diferentes estaciones de la Pampa Arenosa (ubicación de las estaciones meteorológicas en la Fig. 1).

Figure 6. Monthly deviations (in mm) of the average precipitation at different stations of the Sandy Pampa (see location of meteorological stations in Fig. 1).

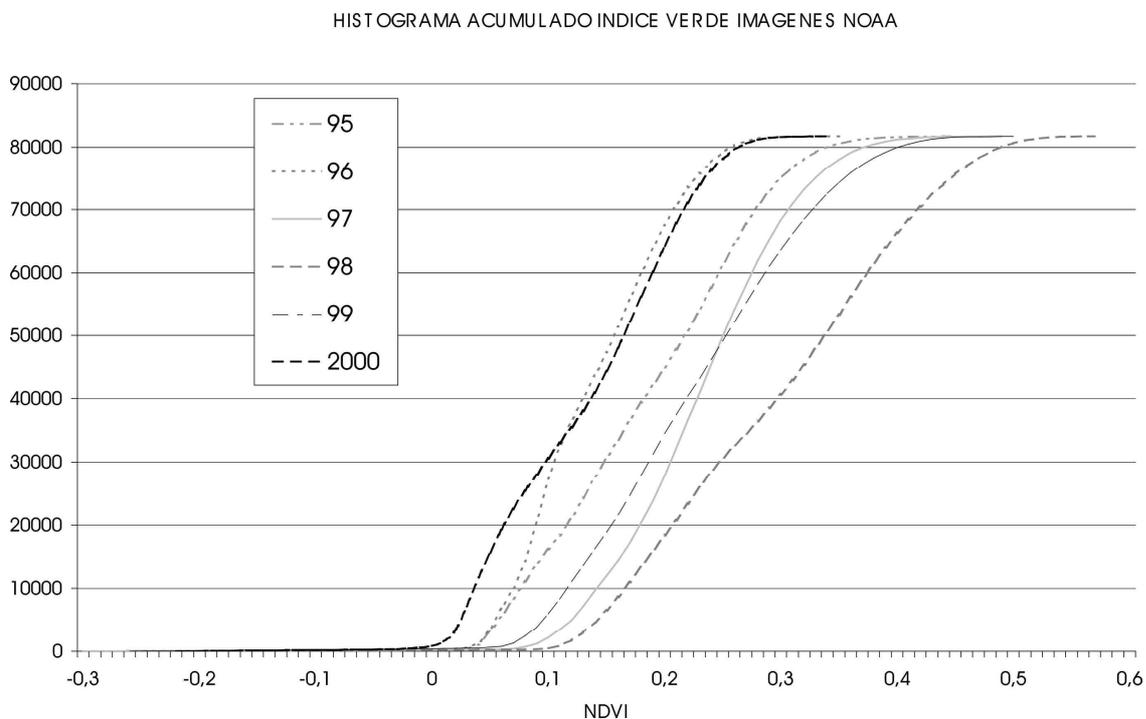


Figura 7. Curva acumulativa (número de píxeles) del índice verde (NDVI en el eje de las x) en las subimágenes NOAA de la figura 5. Durante años ENSO (1998) la curva se desplaza hacia valores más “verdes” (a la derecha). En años normales (1995, 1999) o en años “secos” (1996, 2000), la curva se desplaza hacia la izquierda.

Figure 7. Cumulative curve (number of pixels at the y axis) for the NDVI data from the NOAA subimages of the figure 5. During ENSO years (1995, 1999) or dry years (1996, 2000), the curve is displaced to the left.

6. Conclusiones y recomendaciones de manejo

1. El desmonte del espinal y su reemplazo por praderas cultivadas es un cambio en el uso del suelo que de acuerdo a nuestro análisis de imágenes se está incrementando en los últimos años y cuyas consecuencias (erosión y pérdida de nutrientes del suelo) no han sido debidamente previstas.

2. Los eventos ENSO positivos significan en la región un aumento del índice verde (NDVI) y originan problemas de drenaje en las cuencas que se agravan hacia los Bañados de La Amarga.

3. Estos eventos ENSO de la actualidad han actuado con diferente frecuencia e intensidad de acuerdo a las referencias históricas recabadas y seguramente han dejado registro en la zona durante el Cuaternario tardío.

4. Los campos de dunas transversales indican períodos de reactivación históricos cuando estos eventos ENSO no deben haber sido tan importan-

tes ni tan frecuentes como para transportarse en zonas que actualmente están sujetas a frecuentes inundaciones.

5. Se recomiendan estudios de detalle del grado de erosión y pérdida de nutrientes en suelos donde se ha deforestado el espinal, teniendo en cuenta la edad de estos suelos.

Agradecimientos

Las imágenes fueron provistas por el Satellite Active Archive (National Oceanic and Atmosphere Administration) y por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Las estadísticas pluviométricas fueron proporcionadas por el Servicio Meteorológico Nacional. Las imágenes MSS y TM fueron recibidas por la Estación Receptora Mar Chiquita (ERS Mar Chiquita) del Centro de Sensores Remotos de la F.A.A y por la

Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Cari Zazo (CSIC, Madrid) y Fito Angulo (Universidade Federal de Paraná, Curitiba) realizaron importantes sugerencias.

Referencias bibliográficas

- Barsky, O. & Gelman, J. (2001). *Historia del agro argentino. Desde la conquista hasta fines del siglo XX*. Editorial Grijalbo, Buenos Aires, 460 pp.
- Bilencia, D. (2000). Los agroecosistemas y la conservación de la biodiversidad: el caso del pastizal pampeano. *Gerencia ambiental* 67, 566-607.
- Blarasín, M. T. & Sánchez, M. L. (1987). Secuencia evolutiva de dunas cuaternarias en el sector de Laguna Oscura, Depto. Río Cuarto, Provincia de Córdoba, República Argentina. *X Congreso Geológico Argentino*, S. M. Del Tucumán, Actas III, 297-300.
- Cane, M.A., Clement, A., Gagan, M.K., Ayliffe, L.K. & Tudhope, S. (2000). ENSO through the Holocene, depicted in corals and a simulation model. *PAGES Newsletter* 8, 1, 3-7.
- Cantú, M.P. & Degiovanni, S.B. (1984). Geomorfología de la región Centro Sur de la Provincia de Córdoba. *IX Congreso Geológico Argentino*, S. C. De Bariloche, Actas IV, 76-92.
- Cantú, M.P. & Degiovanni, S.B. (1987). Génesis de los sistemas lagunares del Centro-Sur de la Provincia de Córdoba. *X Congreso Geológico Argentino*, S. M. Del Tucumán, Actas III, 289-292.
- Crumley, C. L. (2000). Bridging the Biophysical-Cultural divide: The role of Historical Ecology. *PAGES Newsletter* 8, 3, 8-9.
- Depetris, P.J., Kempe, S., Latif, M. & Mook, W.G. (1996). ENSO-controlled flooding in the Paraná River (1904-1991). *Naturwissenschaften* 83, 127-129.
- Dillon, A. A., Hurtado, M. A., Jiménez, J. E. & Castillo, R. J. (1985). Consideraciones geomorfológicas y estratigráficas como base del carteo de suelos en un sector de la Pampa Arenosa (Pcia. De Buenos Aires). *Ias. Jornadas Geológicas Bonaerenses*, Actas, Tandil, CIC, 737-749.
- Ely, L.L., Enzel, Y., Baker, V. R. & Cayan, D. R. (1993). A 5000-year record of extreme floods and climate change in the Southwestern United States. *Science* 262, 410-412.
- Frenguelli, J. (1931). Observaciones geográficas y geológicas en la región de Sayape (Provincia de San Luis). Escuela Normal Superior "José María Torres", Paraná, 5-68.
- González Díaz, E. F. (1981). Geomorfología. *Geología de la Provincia de San Luis*, VIII Congreso Geológico Argentino, Relatorio, San Luis, 193-236.
- Hurtado, M. A., Dillon, A. A., Jiménez, J. E. & Castillo, R. J. (1985). Incidencia de factores pedogenéticos en suelos del Partido de Carlos Tejedor (Pcia. De Buenos Aires). *Ias. Jornadas Geológicas Bonaerenses*, Actas, Tandil, CIC, 737-749.
- Falasca, S., Ulberich, A., Mordenti, S. & Bernabe, M. (1999). Estimación de constantes hidrológicas de los suelos de la provincia de La Pampa. *Actas, XIV Congreso Geológico Argentino*, II, 116-118, Salta.
- Frost, P.G.H. & Desanker, P.V. (1996). Land-use and land-cover changes in Central Africa Miombo woodlands. En: *Land use and cover change (LUCC) Open Science Meeting* (L., Fresco, R. Leemans, B.L. Turner, D. Skole, A. G. VanZejl-Rozema & V. Haarman, eds.) Proceedings, LUCC Rept. Series 1, Amsterdam, 45-46.
- García Belsunce, C.A. (1988). Diezmos y producción agrícola en Buenos Aires virreinal. *Investigación y ensayos* 38, Academia Nacional de Historia, 317-355.
- Gorgas, J. A., Pappalardo, J., Tassile, J.L., Bustos, V. & Reynoso, D. (2000). *Monitoreo satelital de anegamientos de tierras. Grado que afectan su productividad en el sudeste de Córdoba*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 10 pp.
- Hacquenghem, A.M. & Ortlieb, L. (1992). Eventos El Niño y lluvias anormales en la costa del Perú: siglos XVI-XIX. *Bulletin Institute Francais des Etudes Andines* 21, 1, 197-278.
- Hanan, N. (1996). *Land-use and land-cover change in the Sahel and the effects on regional climate*. En Land use and cover change (LUCC) Open Science Meeting (L., Fresco, R. Leemans, B.L. Turner, D. Skole, A. G. VanZejl-Rozema & V. Haarman, eds.) Proceedings LUCC Rept. Series 1, Amsterdam, 90.
- Herrero, S. (2000). *Procesos sedimentarios holocenos en la cuenca del Río de los Tártagos (Sierra Norte, Provincia de Córdoba): Implicancias paleoclimáticas y geomorfológicas*, Tesis inédita Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 76 pp.
- Lottes, A.L. & Ziegler, A. (1994). World peat occurrence and the seasonality of climate and vegetation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 106, 23-37.
- Mansilla, L. V. (1870). *Una excursión a los indios ranqueles*. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires, 1966, tomos I y II.
- Ortlieb, L. & Macharé, J. (1993). Former El Niño events: records from western South America. *Global and Planetary Change* 7, 181-202.
- Overpeck, J.T., Bartlein, P.J., & Webb, Th. (1991). Potential Magnitude of Future Vegetation Change in Eastern North America: Comparisons with the Past. *Science* 254, 692-695.
- Peña Zubiate, C.A., Anderson, D.L., Demmi, M.A., Saenz, J.L. & D'Hiriart, A. (1998). *Carta de suelos y vegetación de la Provincia de San Luis*. INTA, Gob. Provincia de San Luis, 115 pp.
- Redman, Ch. L. (2000). The human factor in Paleoclimate. *PAGES Newsletter* 8, 3, 4-5.

- Roig, F.A., Lequesne, C., Boninsegna, J.A., Briffa, K.R., Lara, A., Grudd, H., Jones, P.D. & Villagrán, C. (2001). Climate variability 50,000 years ago in mid-latitude Chile as reconstructed from tree rings. *Nature* 410, 567-570.
- Rodríguez, G., Boullon, D., Magrin, G. & Travasso, M. (2001). *ENSO Impacts on Barley Yields in the Pampean Region of Argentina*. Abstracts Challenges of a changing Earth, Global Change Open Science Conference, Amsterdam, P1.17.03.
- Sala, O. E. & Chapin, T. (2000). Scenarios of global biodiversity. *Global Change Newsletter* 43, 7-19.
- San Cristóbal, J. & Kruse, E. (1999). Efectos ambientales del agua subterránea en el desarrollo urbano de la Pampasia (provincias de La Pampa y Buenos Aires). *Actas, XIV Congreso Geológico Argentino*, II, 112-115, Salta.
- Schabitz, F. (1994). Holocene climatic variations in northern Patagonia, Argentina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 109, 287-294.
- Tucker, C.J., Dregne, H.E. & Newcomb, W. W. (1991). Expansion and contraction of the Sahara Desert from 1980 to 1990. *Science*, 253, 299-301.
- Tudhope, A.W., Chilcott, C.P., Mc Culloch, M. T., Cook, E. R., Chappell, J., Ellam, R.M., Lea, D.W., Lough, J.M. & Shimmield, G. B. (2001). Variability in the El Niño-Southern Oscillation through a glacial-interglacial cycle. *Science* 291, 1511-1517.
- Wasson, R.J. (1996). Land use and climate impacts on fluvial systems during the period of agriculture. *PAGES workshop* 96-2, 51 pp.
- Woodward, F.Y. & Steffen, W.L. (1996). Natural disturbances and human land use in dynamic global vegetation models. *IGBP Rept.* 38, Stockholm, 49 pp.
- Zárate, M. & Blasi, A. (1993). Late Pleistocene-Holocene aeolian deposits of the southern Buenos Aires province, Argentina. *Quaternary International* 17, 15-20.

Recibido 25 de enero de 2002.

Aceptado 14 de noviembre de 2002.