

Santisteban, J. I. *et al.*, 2009. La historia a través de los sedimentos: cambios climáticos y de uso del suelo en el registro reciente de un humedal mediterráneo (Las Tablas de Daimiel, Ciudad Real). *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 497-508
ISSN: 0366-0176

La historia a través de los sedimentos: cambios climáticos y de uso del suelo en el registro reciente de un humedal mediterráneo (Las Tablas de Daimiel, Ciudad Real)

J. I. Santisteban⁽¹⁾, R. Mediavilla⁽²⁾, M. J. Gil García⁽³⁾, F. Domínguez Castro⁽⁴⁾ y M. B. Ruiz Zapata⁽³⁾

(1) Dpt. Estratigrafía, Grupo de Paleoclimatología y Cambio Global, Instituto de Geología Económica-Facultad de Ciencias Geológicas, UCM-CSIC. C/ José Antonio Novais 2, 28040-Madrid

juancho@geo.ucm.es

(2) Área de Investigación en Cambio Global, Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica, Instituto Geológico y Minero de España. C/ La Calera 1, 28760-Tres Cantos (Madrid)

r.mediavilla@igme.es

(3) Dpt Geología, Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares (Madrid)

mjose.gil@uah.es; blanca.ruiz@uah.es

(4) Dpt. Física de la Tierra II, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria 28040 Madrid
f.dominguez@fis.ucm.es

RESUMEN

A través del análisis de los sedimentos acumulados en el humedal del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel y su correlación con los datos histórico-documentales disponibles se ha podido interpretar que los cambios registrados en dichos sedimentos no sólo responden a cambios naturales sino que la influencia humana ha sido notable, aunque con intensidad variable, a lo largo del último milenio. Los cambios registrados afectan fundamentalmente al uso del suelo y vienen determinados por las necesidades socioeconómicas de la población del entorno del Parque Nacional. La intensidad y duración relativa de estos impactos permite estimar la capacidad de recuperación del sistema de manera que el grado de intensidad viene determinado por la capacidad tecnológica de mantener una actuación sostenida sobre el suelo. Se puede identificar un período (natural) en que los impactos sobre el medio son instantáneos y de los que el medio se recupera rápidamente, un período de intensificación de la agricultura (preindustrial), en el que se producen cambios graduales suaves, y un período de introducción de la maquinaria en el campo (industrial) en el que los cambios son sostenidos en el tiempo y con un importante impacto impidiendo la recuperación del medio.

Palabras clave: actividad humana, cambio climático, humedal, último milenio, uso del suelo

History through sediments: environmental, land use and technological change in the record of a temperate wetland (Las Tablas de Daimiel, central Spain)

ABSTRACT

The analysis of the sediments of a temperate wetland in central Spain (Las Tablas de Daimiel National Park) and their correlation to historical and documental data allows to interpret the environmental changes recorded in such sediments as due to the variable intensity human action in addition to the natural variability. Recorded events are related to land use changes that are caused by the socioeconomical circumstances of the surrounding human communities. Relative intensity and length of such impacts permits to estimate the duration of the anthropic events and the recovery ability of the natural system, evidencing that the intensity degree is determined by the technological capability to sustain a prolonged soil use. As a result, the Tablas de Daimiel National Park record has been divided in three periods: a "natural" period, when the impact of events is short and the environment is able to recover quickly, a "preindustrial" period, when changes are gradual but sustained, and an "industrial" period, when the sustained activity is so intense that the natural system is unable to recover.

Key words: climate change, human activity, land use, last millennium, wetland

Introducción

Los cambios originados por el hombre, registrados en los sedimentos, se han interpretado como resultado de las modificaciones que este provoca en el

medio natural o de su influencia sobre el sistema climático. La relación hombre-medio natural-clima es un hecho ampliamente reconocido para todo el período humano y, consecuentemente, hay numerosas estudios al respecto.

Santisteban, J. I. *et al.*, 2009. La historia a través de los sedimentos: cambios climaticos... *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 497-508

La influencia del clima es patente como un control de la actividad agrícola llegando al punto de provocar el colapso de civilizaciones (Hodell *et al.*, 1995; Haug *et al.*, 2003; Thompson *et al.*, 1994; Nuñez *et al.*, 2002; Weiss *et al.*, 1993; Weiss and Bradley, 2001; Rosen, 1995; Nicoll, 2004; Tyson *et al.*, 2002; Huang *et al.*, 2003) o controlando el desarrollo social y cultural (Messerli *et al.*, 2000; Fagan, 2000, 2003). Sin embargo, a pesar de que es una conclusión aceptada que el clima no ejerce un control directo en la evolución de la sociedad, parece claro que esta "independencia" climática depende del grado de capacidad de la sociedad de soportar los cambios en los recursos naturales mediante una adaptación tecnológica (Fagan, 2000, 2003). Esto lleva al hecho de que ese desarrollo no es igual en todas las zonas del planeta e incluso para un mismo dominio como el europeo, ese desarrollo ha sido desigual en el tiempo y el espacio provocando una mayor o menor incidencia de la variabilidad y cambio climático, lo que hace necesario más investigación sobre los ambientes controlados por el hombre (Dearing *et al.*, 2006a).

El objetivo de este artículo es mostrar un ejemplo en el que la interpretación del registro sedimentario complementada con la consideración de datos históricos nos permite precisar esta interpretación y, recíprocamente, mejorar el conocimiento histórico del

periodo al poder estimar la incidencia de la actividad humana, sobre el medio natural, y cómo los cambios tecnológicos y sociales han tenido un papel decisivo en los diferentes periodos identificados.

Situación geográfica y geológica

El Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (PNTD) es un humedal fluvial localizado en la provincia de Ciudad Real a unos 600 metros sobre el nivel del mar (Fig. 1). Hasta 1983 estaba alimentado por las aguas de los ríos Cigüela (sulfatadas) y Guadiana (carbonatadas) y subterráneas, si bien a partir de ese momento las aportaciones del Guadiana cesaron y el acuífero cayó de tal modo que en la actualidad la alimentación es casi exclusivamente superficial.

Desde un punto de vista geológico, se asienta sobre materiales terciarios de la Meseta meridional constituidos principalmente por carbonatos lacustres y arenas, gravas y conglomerados aluviales.

El clima en la zona es mediterráneo con una cierta influencia atlántica, con unas precipitaciones medias anuales en torno a 413 mm, una temperatura media anual de 14.3°C (media para el siglo XX), veranos cálidos y secos e inviernos fríos y relativamente húmedos.

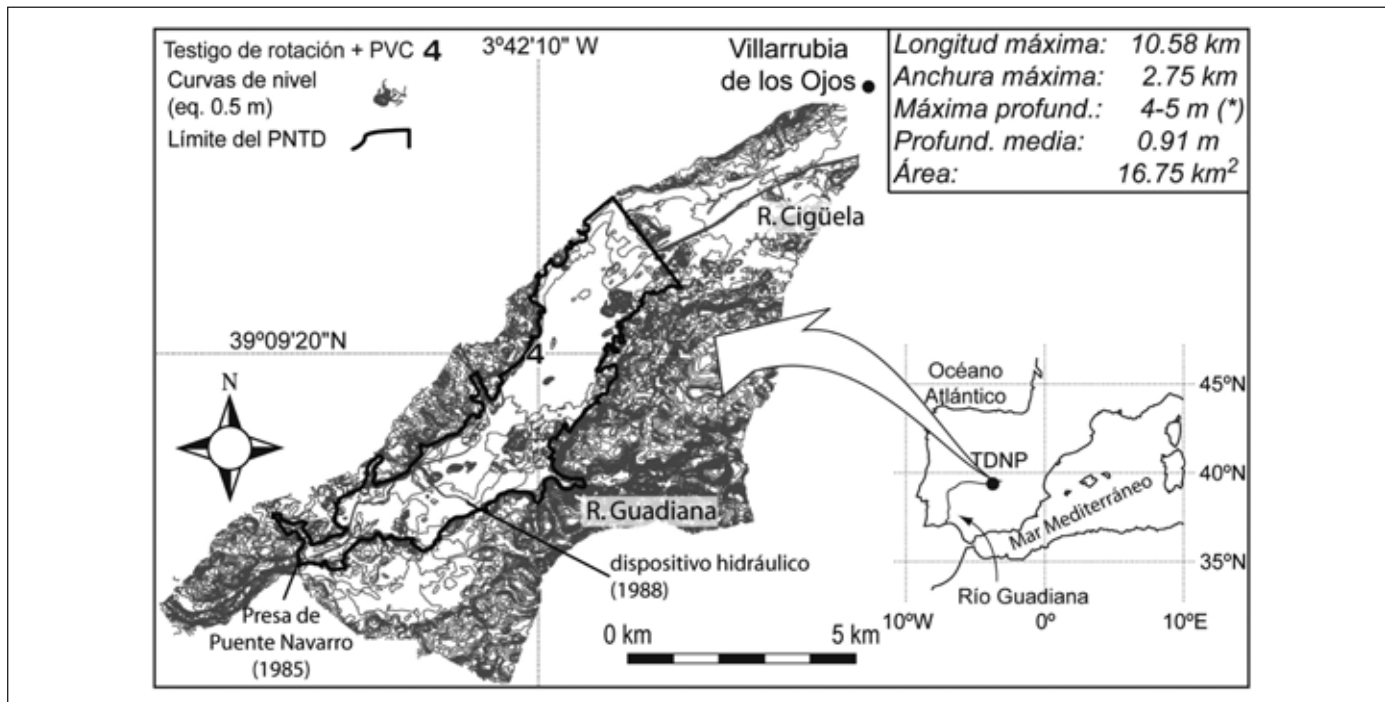


Figura 1. Localización del área y sondeo 4
Figure 1. Studied area and location of core 4

Santisteban, J. I. *et al.*, 2009. La historia a través de los sedimentos: cambios climaticos... *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 497-508

La vegetación del humedal está dominada por las heliofitas, principalmente *Phragmites australis*, *Claudium mariscus* y *Typha domingensis*, que se distribuyen en los márgenes y forman "islas", mientras que en las zonas inundadas es característica una comunidad dominada por las caráceas. Rodeando al humedal se encuentran áreas cubiertas por *Tamarix*, halófilas y cultivos dominados por *Vitis*, *Olea* y Cerealía.

Sedimentos

Los sedimentos recientes del PNTD se han estudiado a partir de sondeos obtenidos mediante vibracorer,

tubos de PVC introducidos manualmente y sondeos por rotación durante el año 2002 y otros obtenidos mediante sonda tipo rusa durante los años 2006-07. En total dispone de más de 60 sondeos, con los que se procedió a la caracterización de los sedimentos.

De estos sondeos, el denominado Cigüela 4 (Figs. 1, 2) reúne unas condiciones excepcionales al poderse analizar detalladamente las facies presentes. Este trabajo se apoya en los análisis geoquímicos y polínicos realizados en este sondeo (Santisteban *et al.*, 2004, Domínguez-Castro *et al.*, 2006, Gil-García *et al.*, 2007) mientras que el modelo de edad obtenido para estos sedimentos mediante AMS ^{14}C , ^{210}Po y $^{239+240}\text{Pu}$ y datos documentales puede encontrarse en Domínguez-Castro *et al.* (2006).

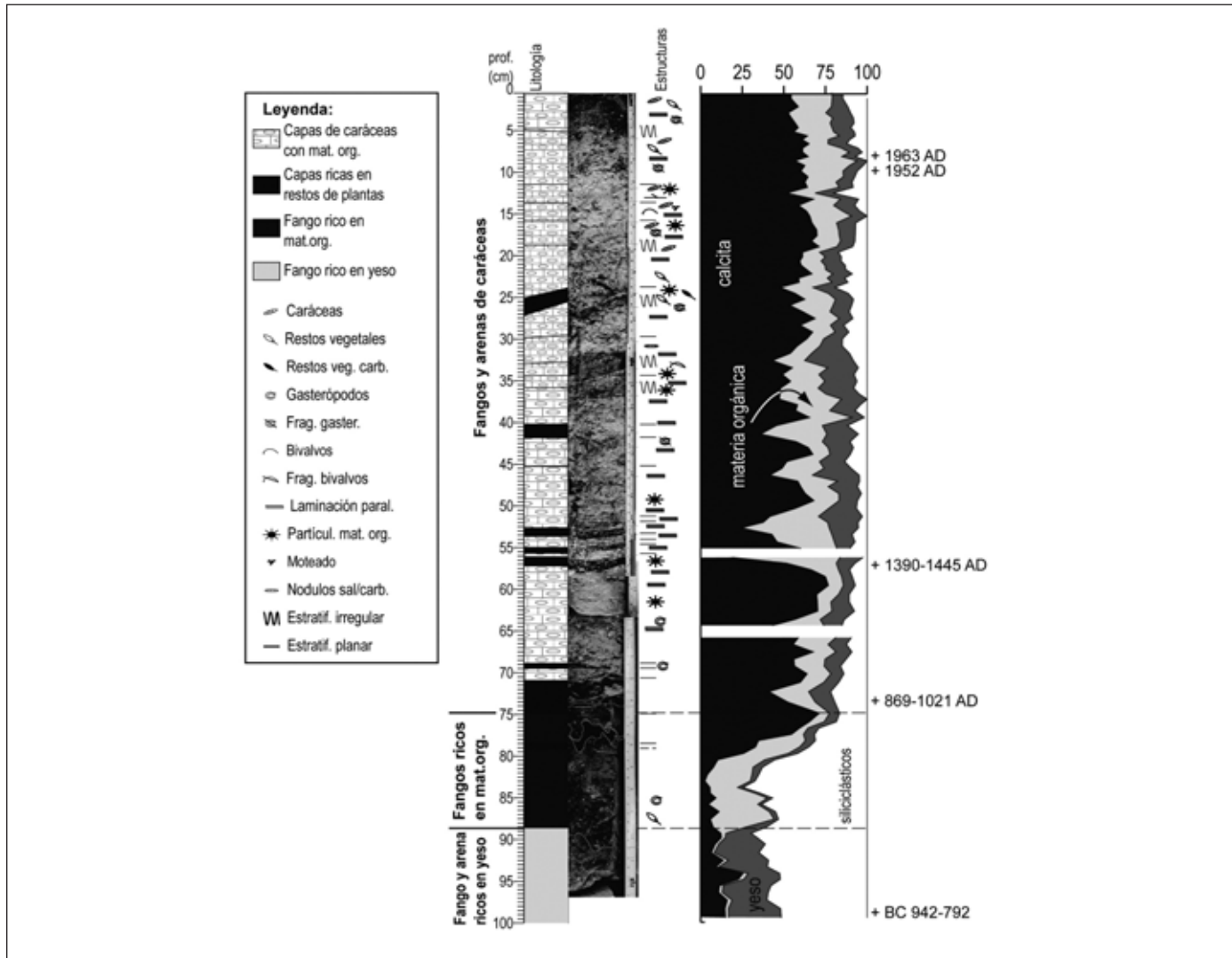


Figura 2. Columna del sondeo 4, facies, composición y dataciones radiométricas

Figure 2. Stratigraphical section of core 4, facies, mineralogical components and dated samples

Santisteban, J. I. *et al.*, 2009. La historia a través de los sedimentos: cambios climaticos... *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 497-508

Santisteban *et al.* (2004) identifican tres facies principales cuya interpretación coincide con la de los principales ambientes representados en la actualidad (Fig. 3a). Los sedimentos basales son arcillas y arenas muy finas de color gris a verde claro y ricas en yeso. El yeso aparece como cristales lenticulares de tamaño milimétrico a submilimétrico, bien dispersos o formando niveles centimétricos. Muestran el menor contenido en C orgánico y N de todas las facies mientras que son las más ricas en Al y S (Fig. 2). Esta facies representa un subambiente de llanura/humedal salino caracterizado por una alta tasa de aportes detríticos y aguas salinas.

La siguiente facies está compuesta por arcillas a arcillas limosas de color gris oscuro a negro ricas en materia orgánica. Aparte del alto contenido en C orgánico, también son las más ricas en Al, mientras que son las más empobrecidas en S. Santisteban *et al.* (2004) las interpretan como acumuladas en un ambiente de humedal con abundantes macrofitas emergentes.

La facies presente en el tramo superior, en la que se centra este trabajo, integra niveles de fangos y arenas carbonatadas compuestas principalmente por restos de caráceas que pueden alternar con otros constituidos por láminas orgánicas de origen vegetal (fundamentalmente restos de hojas) que, ocasionalmente, pueden contener restos de carbón. Los componentes siliciclásticos son escasos y se encuentran en la fracción limo a limo arenoso. Es la facies con mayor contenido en C inorgánico y el C total es ligeramente mayor que en la facies anterior. El contenido en Al es el menor y el de S, aunque bajo, no es el menor del sondeo. Esta facies representa ambientes de aguas abiertas dentro del humedal (Santisteban *et al.*, 2004). Cronológicamente, estos últimos materiales se sitúan en el último milenio (Gil-García *et al.*, 2007).

A partir del análisis de facies y geoquímico es evidente que la dinámica de este sistema está regulada por las fluctuaciones hidrológicas que determinan, a diversas escalas temporales, la posición de los diferentes subambientes y sus características "ecológicas" (Fig. 3a). Así, para corto plazo, las variaciones en la posición del borde condicionan el mayor o menor desarrollo de la vegetación palustre y, en consecuencia, la relación entre el carbonato (caráceas) y materia orgánica (vegetación emergente) acumulada. Sin embargo, para un lapso mayor de tiempo, la salinidad de los suelos, consecuencia de una acumulación mayor o menor de períodos húmedos o secos, determina la capacidad de estos para soportar una mayor o menor cantidad de biomasa y, por lo tanto, incide en la cantidad de materia orgánica acumulable (Fig. 3b).

Estas relaciones se evidencian en las tendencias observadas en el registro geoquímico del tramo en estudio (Fig. 3c) y permiten, mediante la integración de la información polínica, realizar una reconstrucción paleoclimática en términos de humedad relativa (precipitaciones) y temperaturas.

Contexto paleoclimático

De acuerdo con Santisteban *et al.* (2005) y Gil-García *et al.* (2007) el registro paleoclimático de esta facies puede dividirse en diferentes periodos (Fig. 4). El clima inicial (siglos XI a XIV) se caracteriza por unas condiciones relativamente cálidas y húmedas, con suaves fluctuaciones, tendentes hacia una mayor aridez (Dorado *et al.*, 2002) y que son comparables con las condiciones del Periodo Cálido Medieval tal y como las describen Julià *et al.* (1998), Desprat *et al.* (2003), Riera *et al.* (2004), Martín-Puertas *et al.* (2008), Morellón *et al.* (2008) y Valero-Garcés *et al.* (2008) para el NO, el NE, el S y centro de España.

A partir del siglo XV las condiciones climáticas se hacen más fluctuantes, con rápidas oscilaciones entre extremos térmicos e hídricos, y las temperaturas fueron en promedio más frescas que para el periodo anterior. Estas características son las que permiten identificar este periodo como la Pequeña Edad de Hielo que también se reconoce en otras áreas de España (Julià *et al.*, 1998, Desprat *et al.*, 2003, Riera *et al.*, 2004, Martín-Puertas *et al.* 2008, Morellón *et al.* 2008 y Valero-Garcés *et al.* 2008).

Desde mediados del siglo XIX los registros presentan una gran variabilidad, probablemente causada por la mayor presión antrópica, lo que dificulta la reconstrucción climática.

Anomalías en el registro sedimentario

La composición geoquímica y polínica es una herramienta ampliamente utilizada en la interpretación ambiental y paleoclimática de los sedimentos lacustres (Last y Smol, 2001) al poderse establecer una serie de relaciones causa-efecto entre los indicadores analizados, el clima y el medio ambiente. Cualquier separación significativa de dichas relaciones indicará un factor externo al modelo que puede considerarse una anomalía o perturbación. En el caso de los sedimentos estudiados, los indicadores polínicos nos dan información sobre la vegetación regional (taxones arbóreos) y local (herbáceas) (factores exógenos y endógenos) mientras que los geoquímicos fundamentalmente proveen datos sobre las condiciones de

Santisteban, J. I. *et al.*, 2009. La historia a través de los sedimentos: cambios climaticos... *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 497-508

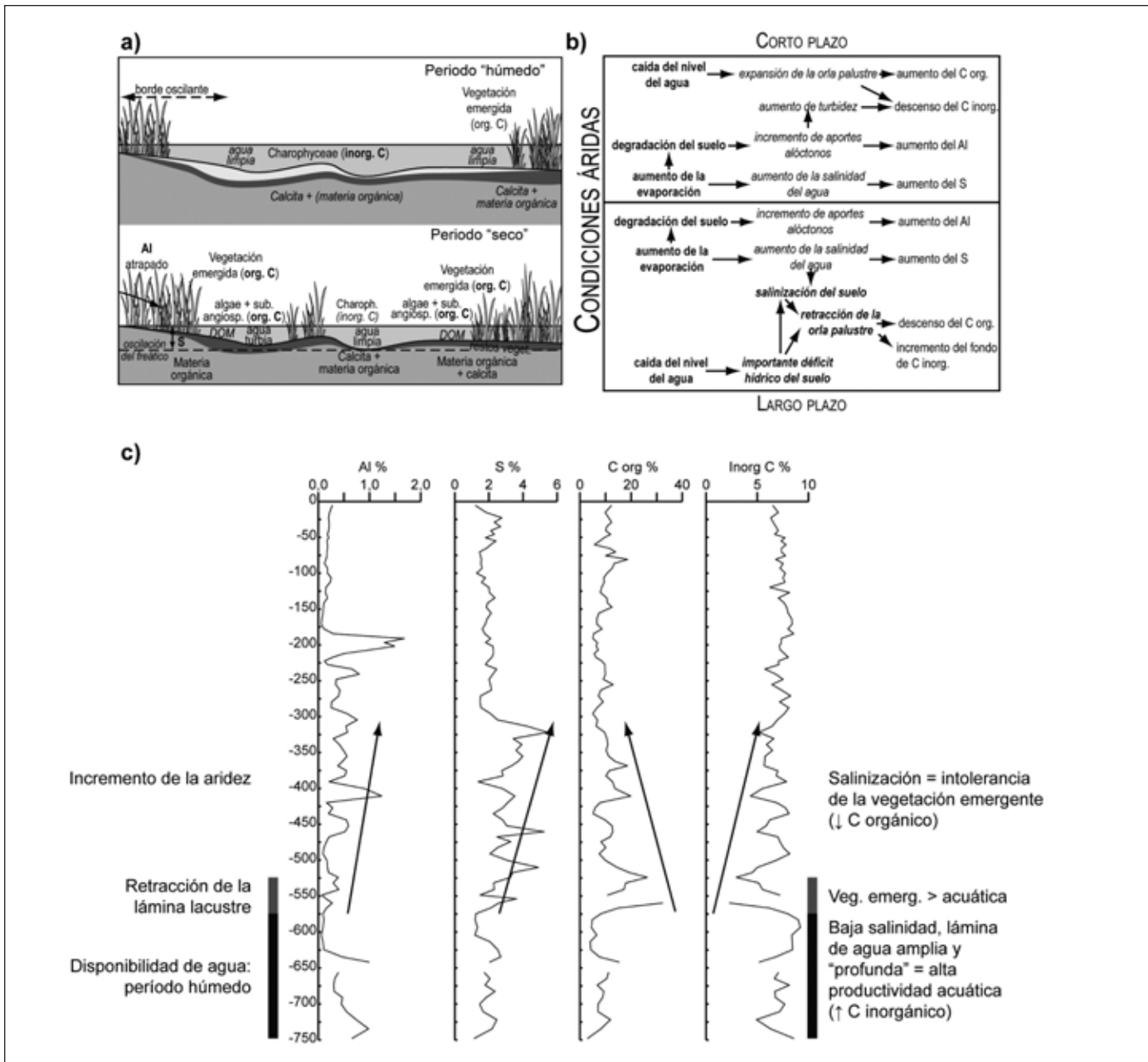


Figura 3. Modelo sedimentario para condiciones húmedas y secas (a), modelo evolutivo para corto y largo plazo (b) y tendencias apreciadas en el sondeo (escala en mm) (c), nótese la coincidencia de muchos de los valores puntuales evidenciando la relación a corto plazo
 Figure 3. Sedimentary model for wet and dry periods (a), model for short and long term evolution (b), and observed trends in the core (c).
 Note the coincidental values of samples pointing to a short term relation

producción biológica y las variaciones de salinidad de las aguas (factores endógenos).

El mayor o menor grado de incidencia de las anomalías observadas será función de su duración y del área afectada. Así, hemos diferenciado entre "eventos", cuando la anomalía es de corta duración y fundamentalmente afecta a una porción del sistema, y

"perturbaciones", cuando la anomalía persiste a lo largo del tiempo (produce un cambio de duración considerable) y afecta a parte o todo el sistema.

Las mayores anomalías que se han encontrado en el registro se concentran en dos períodos: los siglos XI y XII y desde finales del siglo XVIII hasta la actualidad (Fig. 5).

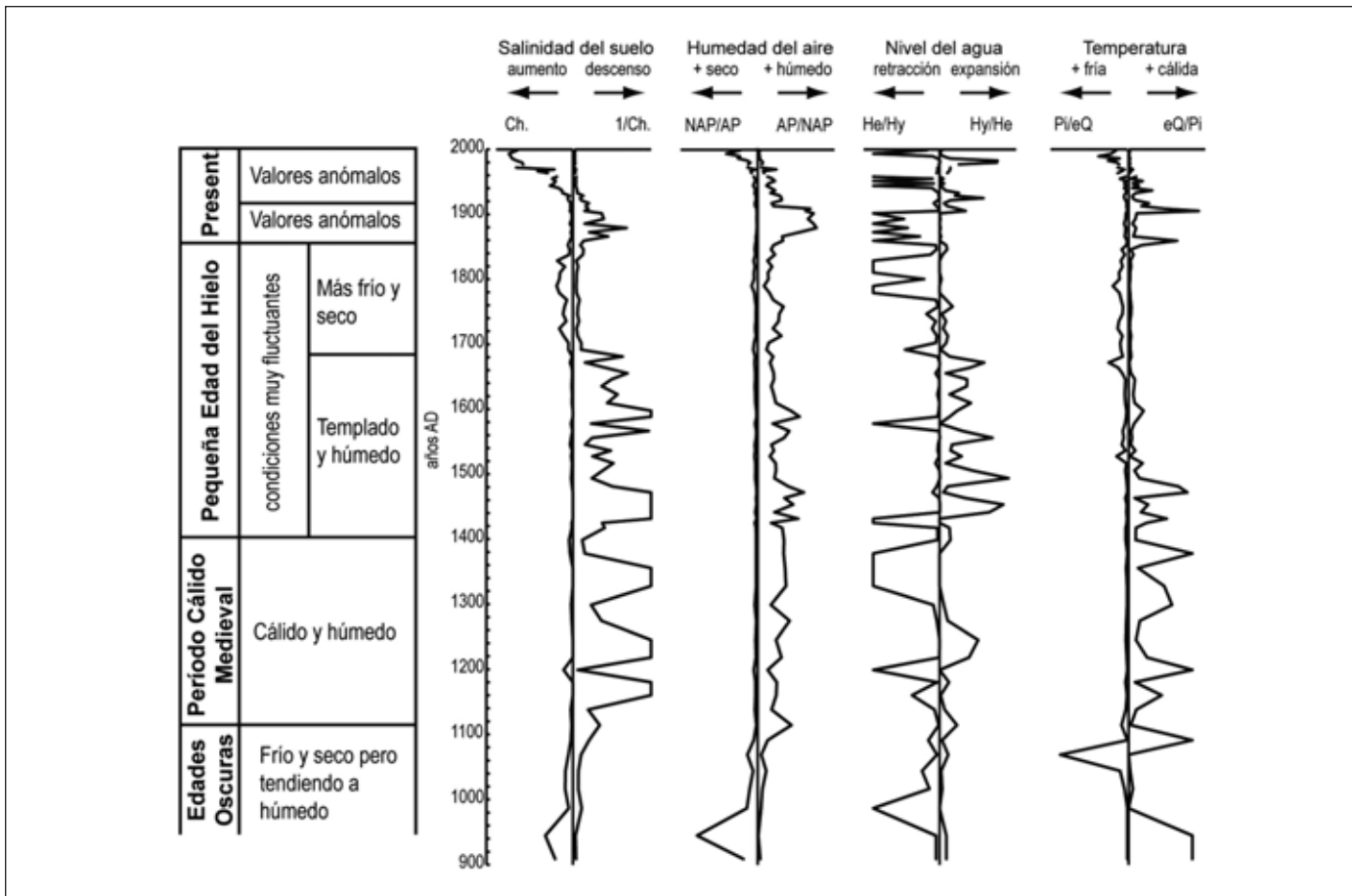


Figura 4. Periodos climáticos identificados a partir del registro polínico (modificado de Santisteban et al., 2005)
 Figure 4. Climate periods identified from the pollen record (modified from Santisteban et al., 2005)

Las primeras anomalías que se registran son caídas bruscas de los valores de polen arbóreo, de *Pinus* y de *Quercus perennifolio* que se recuperan en el transcurso de pocas décadas (eventos). Estas caídas, correspondientes a elementos externos al humedal, no van acompañadas de cambios en los parámetros geoquímicos que nos indiquen variaciones importantes en la masa acuática (Fig. 6).

La siguiente anomalía que se aprecia tiene lugar a finales del siglo XVIII y se manifiesta por una brusca bajada de los valores de S que a partir de ese momento nunca llega a alcanzar sus valores máximos previos (perturbación). Esta caída del S va acompañada por un descenso local del C orgánico, en el polen de *Chenopodiaceae-Amaranthaceae* y un aumento del valor promedio de C inorgánico (Fig. 5). No se observan cambios apreciables en los demás parámetros, tanto locales como regionales.

No es hasta un siglo después, a finales del siglo XIX, que se aprecia una nueva anomalía (Fig. 7). En

este caso destaca un aumento brusco de los valores de Al, seguida de una brusca bajada, acompañada por un leve descenso local del valor del C orgánico e inorgánico. Adicionalmente, la relación polínica arbóreos/arbustivos/herbáceas se ve modificada al igual que la relación heliofitas/hidrofitas. Es de destacar la casi desaparición de *Chenopodiaceae-Amaranthaceae* y los mayores valores de *Oleaceae*. No se aprecian cambios en las tendencias de S ni en las de los demás taxones polínicos.

Durante el siglo XX (Fig. 7) se aprecia la expansión de *Cerealia* acompañada de un incremento de Al y el retroceso del polen arbóreo (fundamentalmente de *Quercus perennifolio* y *Oleaceae*) y arbustivo a favor del polen de herbáceas y a partir de la segunda mitad del siglo XX se suceden casi ininterrumpidamente las anomalías una tras otra. Estas anomalías vienen marcadas por el aumento y posterior disminución de los valores de S, el incremento abrupto de los valores de N, oscilación brusca del C orgánico y descenso relati-

Santisteban, J. I. *et al.*, 2009. La historia a través de los sedimentos: cambios climaticos... *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 497-508

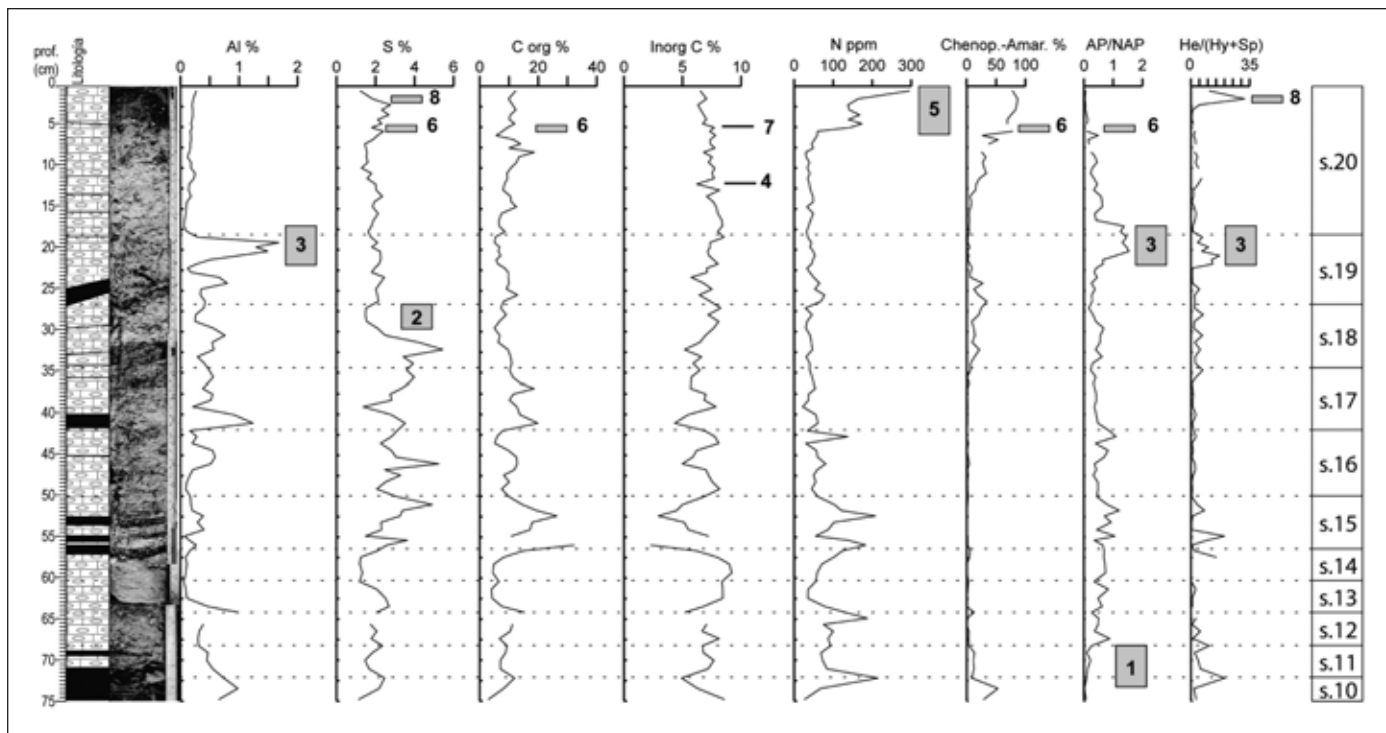


Figura 5. Perfiles geoquímicos y polínicos con indicación de las principales anomalías detectadas (modificado de Domínguez-Castro *et al.*, 2006)

Figure 5 Geochemical and pollen profiles with indication of the main anomalies (modified from Domínguez-Castro *et al.*, 2006)

vo del C inorgánico. Así mismo, el polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae, que ya mostraba un aumento progresivo, se incrementa notablemente.

Discusión

Los eventos que se han identificado en el registro, por su posición temporal y ámbito, permiten definir varios períodos.

El primero de ellos, Edad Media, se caracteriza porque los eventos sólo afectan a parte de la vegetación terrestre (árboles y arbustos) y no tienen repercusiones en el sistema acuático. Esto lleva a considerar que se trata de un factor externo al sistema natural el que es responsable de dichos eventos. Por su situación temporal (siglos X a XII) estos eventos se sitúan históricamente en el período de la conquista árabe, las revueltas árabes contra Toledo y posterior desplazamiento de la frontera cristiano musulmana a la zona entre el Tajo y el Guadiana (Rodríguez-Picavea, 1999). Durante este período se realizan importantes obras de fortificación en la zona como la construcción de los castillos de Calatrava la Vieja,

Daimiel y Villarrubia de los Ojos, requiriendo madera para las obras de construcción sin que haya una actuación directa sobre el humedal (Fig. 8a). La deforestación medieval sería la responsable de este primer evento.

Los siguientes 500 años se caracterizan por una estabilidad en la que los cambios hidrológicos vienen controlados por el clima (Figs. 3, 4) y la acción antrópica es negligible. Esto viene motivado porque durante ese período la densidad de población en la zona es muy baja, la tierra pertenecía en su mayor parte a la orden de Calatrava (con mayor interés en la ganadería que en la agricultura) y unas técnicas agrícolas poco evolucionadas que permitían la explotación de una pequeña parte del territorio con gran esfuerzo.

Ya en la segunda mitad del siglo XVIII, el cambio que se observa en la salinidad de las aguas puede deberse a que en 1787 se excavó el canal que en la actualidad constituye el curso del río Azuer (Anónimo, 1812) y se limpiaron otros tramos de su curso favoreciendo la llegada de aguas dulces de forma continuada y rebajando la salinidad de las aguas del humedal. Esta actuación se enmarcó en una política de saneamiento de las áreas encharcadas que los gobiernos ilustrados del siglo XVIII impulsa-

Santisteban, J. I. *et al.*, 2009. La historia a través de los sedimentos: cambios climaticos... *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 497-508

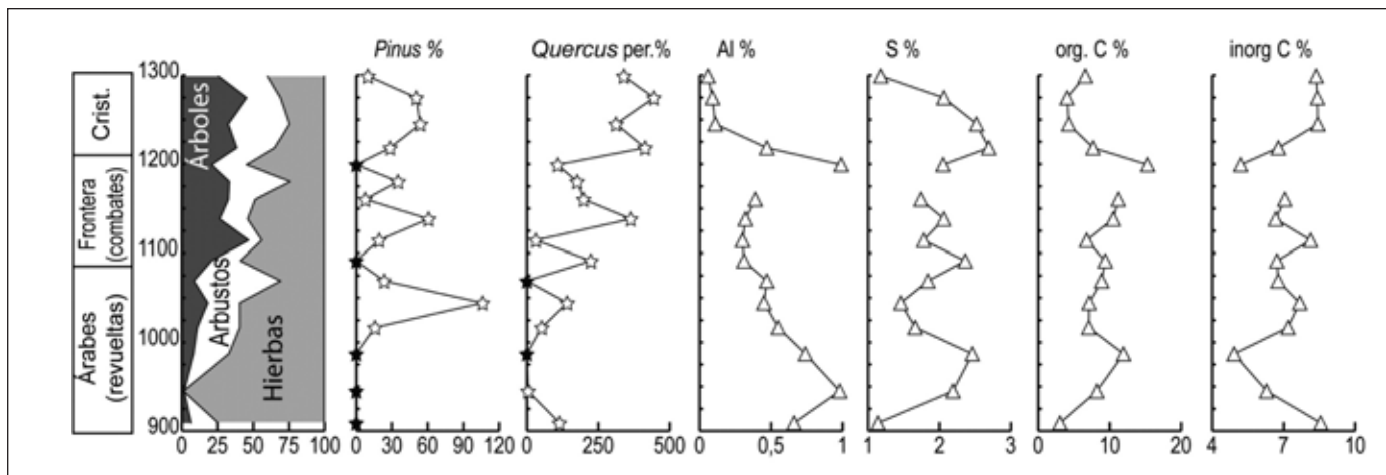


Figura 6. Perfiles geoquímicos y polínicos para los siglos X a XIV. Estrellas negras: anomalías en el registro polínico arbóreo
 Figure 6. Geochemical and pollen profiles for the X to XIV centuries. Black stars: arboreal pollen anomalies

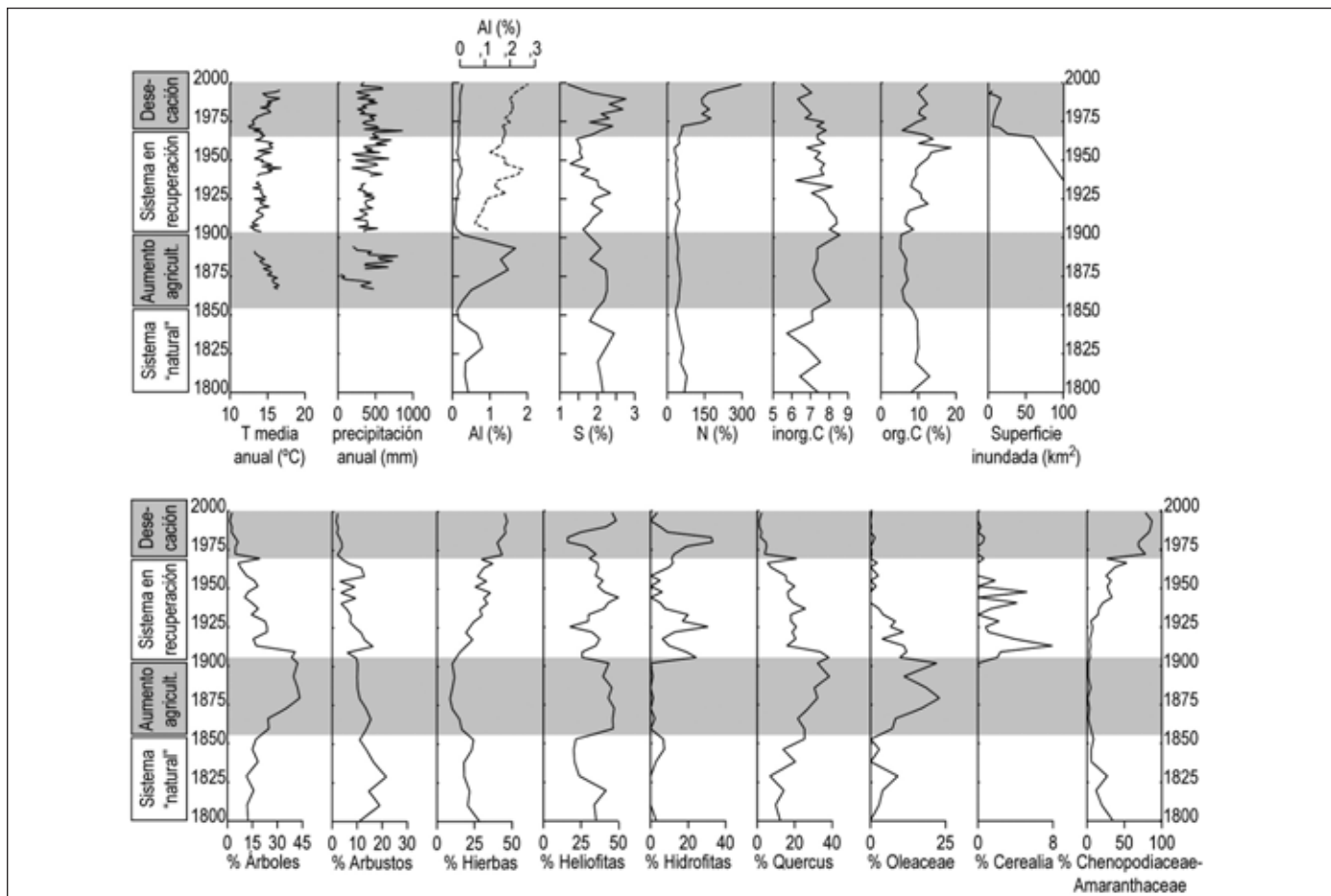


Figura 7. Perfiles geoquímicos y polínicos para los siglos XIX y XX. Se incluyen los parámetros meteorológicos para los últimos 150 años y la evolución de la superficie inundada durante el siglo XX. Nótese la falta de coincidencia de la meteorología con el registro mientras que se puede correlacionar el descenso de la lámina de agua de finales de los 60 con cambios en la geoquímica y polen
 Figure 7. Geochemical and pollen profiles for the 19th to 20th centuries. The meteorological data for the last 150 years and the area of the water table for the 20th century are included. Notice the lack of coincidence between the meteorology and the sedimentary record for most of the period but for the late 60s drop in the water table that can be correlated to changes in the geochemical and pollen records

Santisteban, J. I. *et al.*, 2009. La historia a través de los sedimentos: cambios climaticos... *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 497-508

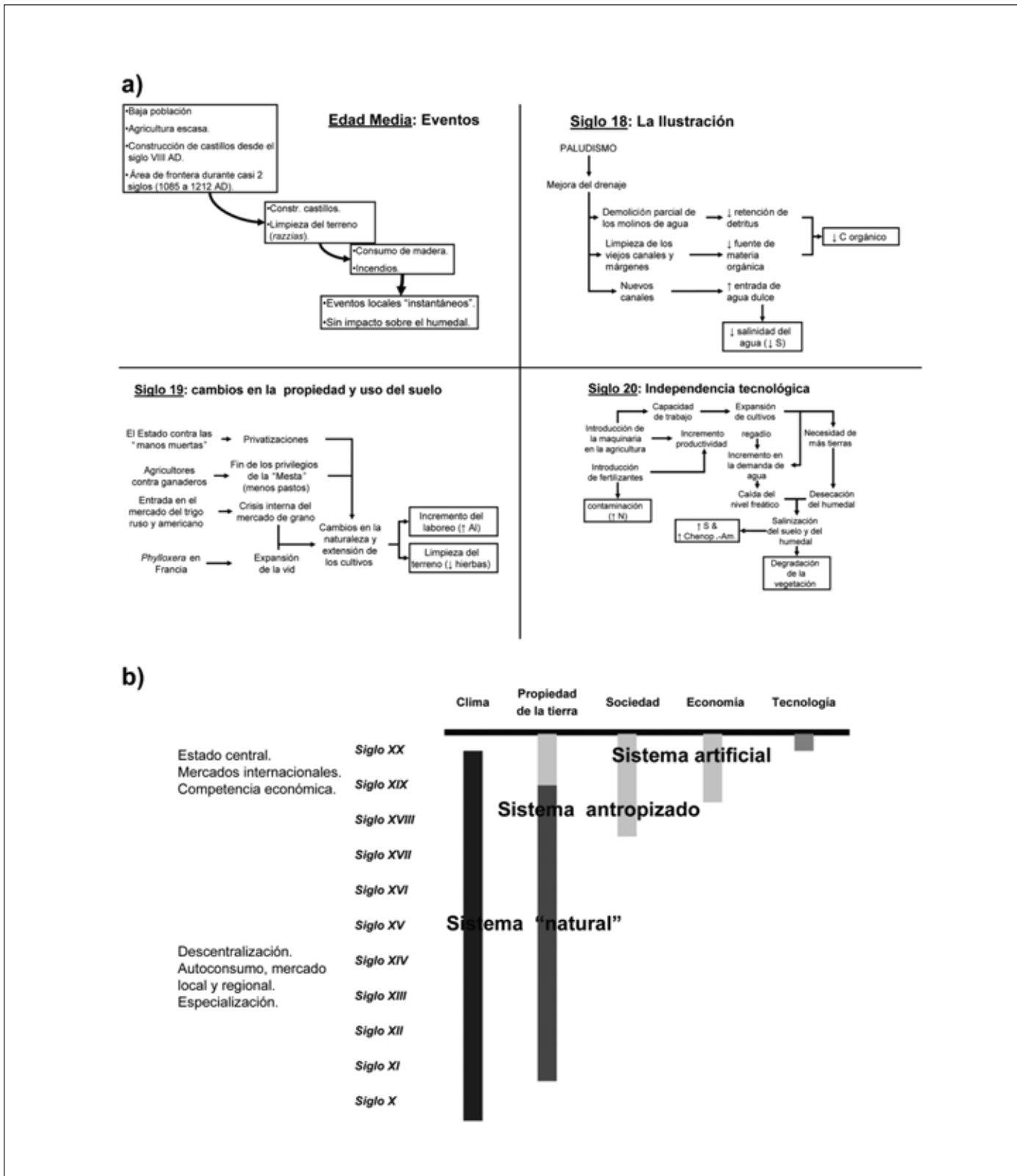


Figura 8. Modelo conceptual de relación entre los diferentes factores responsables de las anomalías del registro sedimentario (a) y evolución del tipo y momento de actuación de los factores (b)

Figure 8. Conceptual model showing the relations among the different factors responsible of the anomalies in the sedimentary record (a), and kind and timing of such factors (b)

Santisteban, J. I. *et al.*, 2009. La historia a través de los sedimentos: cambios climaticos... *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 497-508

ron con el fin de minorar las crisis de paludismo que afectaban a amplias zonas del país (Anónimo, 1786) y que medraban la mano de obra disponible (Fig. 8a).

A finales del siglo XIX se produce una notable entrada de material detrítico coincidente con un incremento en los taxones herbáceos junto con un descenso en el polen arbóreo y arbustivo. Estos rasgos indican una removilización de suelo desnudo y una degradación de la cobertura vegetal que al relacionarse con un incremento de los taxones cultivados (p.ej. Oleaceae) indican un laboreo intenso de las tierras circundantes al humedal. Este "súbito" incremento de la actividad agrícola viene motivado por la suma de diferentes factores. En primer lugar, a lo largo del siglo XIX, sobre todo de su segunda mitad, tiene lugar el proceso desamortizador que hace que las tierras pertenecientes a las órdenes militares cambien de manos. En la provincia de Ciudad Real, como una estimación, la superficie correspondiente a tierras no roturadas superaba el 70 % (Linares, 2004) de un total de 1981300 hectáreas, la mayor parte en manos de las órdenes de Calatrava y de San Juan, de las que fueron enajenadas 615837 hectáreas (cerca del 30 %). Además, la caída de los precios agrícolas (fundamentalmente el cereal) a finales de siglo (Carnero, 1980; Bringas, 2000) junto con la crisis de la filoxera en Francia provocó una expansión del viñedo a expensas del cereal (Carnero, 1980) que supondría una enorme tarea de roturación para el cambio de cultivos. Es durante este período cuando se produce la gran expansión del viñedo en La Mancha (Fig. 8a).

La posterior estabilización de la agricultura permitió la recuperación del sistema hasta la segunda mitad del siglo XX, momento en el que la modernización de la agricultura (mecanización, introducción de fertilizantes, etc.) permitió solventar uno de los mayores problemas de la agricultura en la zona hasta el momento: la disponibilidad de agua (Fig. 8a). En 1967, dentro de los planes nacionales de colonización, se iniciaron las obras de desecación del humedal lo que, junto con la sustitución de los sistemas tradicionales de extracción de agua con noria por sistemas de bombas, inició el proceso de descenso del nivel freático en la zona. Esto queda patente tanto dentro del humedal (incremento del S debido al aumento de la salinidad de las aguas) como en sus alrededores (incremento del polen de Chenopodiaceae-Amaranthaceae relacionado con un aumento de la salinidad de los suelos), coincidiendo con el brusco descenso de la superficie inundada, así como la actividad agrícola posterior (súbito incremento del N y descenso del C inorgánico, descenso del polen de arbustos y árboles). Finalmente, quedan registrados los tardíos intentos de recuperar la zona

mediante trasvases (descenso del S), si bien no hay evidencias de una recuperación del sistema en su conjunto (mantenimiento de las tendencias geoquímicas y polínicas previas).

Conclusiones

Si bien es conocido el efecto de los cambios en el uso del suelo como un factor que afecta al clima tanto mediante cambios en el albedo como en los cambios en el balance de C, la estimación y modelización de estos cambios del suelo es compleja (Matthews *et al.* 2004; Dearing *et al.*, 2006b). Las estimaciones actuales se apoyan en medidas y modelos lineales sin que haya verdaderas estimaciones del cambio pasado. A lo largo de este artículo se ha mostrado la existencia de cambios de diferentes duraciones e intensidades y que estos cambios están provocados por factores cuyo desarrollo no está gobernado por una dinámica lineal (Fig. 8b). Esta constatación es de gran importancia para el estudio del cambio climático y de su dinámica.

Así, en la Edad Media, los impactos observados responden a factores geopolíticos relacionados con la conquista árabe y la reconquista.

La posterior estabilidad viene motivada por factores sociales (la tierra considerada como un bien por su posesión y no por sus frutos, baja densidad de población), tecnológicos y económicos (técnicas agrícolas arcaicas, bajo rendimiento de las tareas agrícolas, intereses ganaderos).

Un interés socioeconómico como es la merma de mano de obra debida al paludismo es lo que motiva el inicio del "saneamiento" de las áreas pantanosas peninsulares en el siglo XVIII y, con ello, un cambio sustancial en el quimismo de las aguas de Las Tablas.

El siglo XIX viene marcado por cambios sociopolíticos, como es la emergencia de la cada vez más influyente clase media-alta burguesa, que conllevan cambios importantes en la propiedad de la tierra, así como socioeconómicos, al "globalizarse" la economía y aumentar la competencia en los productos básicos, y ambientales, la crisis de la filoxera, que son los responsables de importantes cambios en el uso del suelo.

Finalmente, en el siglo XX se produce la tecnificación de la agricultura, con introducción de maquinaria, fertilizantes, etc., que provocan cambios en las técnicas de explotación repercutiendo ya no sólo sobre la extensión del terreno y su uso sino también sobre recursos indirectos, el agua, con el fin de aumentar la productividad.

Como queda patente, la combinación de estos fac-

Santisteban, J. I. *et al.*, 2009. La historia a través de los sedimentos: cambios climaticos... *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 497-508

tores externos (llamémosles "sociales") son responsables en gran medida del estado actual del sistema, pero también lo han sido de su evolución y una estimación o modelo de los cambios acontecidos no puede ser elaborado sin tenerlos en cuenta.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la dirección del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel así como a todo su personal las innumerables facilidades y apoyo dados durante todos los años en que esta investigación se está desarrollando. Este trabajo se enmarca dentro de los proyectos REN2002-04433-CO2-01, REN2002-04433-CO2-02 y CGL2005-06458-CO2-01/HID Fernando Domínguez ha participado en esta investigación a través de una beca de Formación de Personal Investigador BES-2003-0482.

Referencias

- Anónimo 1786. Lista de las diócesis socorridas con suministro de quina por el Rey contra la epidemia de tercianas. *Gaceta de Madrid* 69, 568.
- Anónimo 1812. Reflexiones sobre el decreto de S.M. en favor de la villa de Daimiel publicado en la gaceta de ayer. *Gaceta de Madrid*, 104, 420.
- Bringas, M.A. 2000. *La productividad de los factores en la agricultura española (1752-1935)*. Estudios de Historia Económica 39, 204 pp. Ed. Banco de España, Madrid.
- Carnero, T. 1980. *Expansión vinícola y atraso agrario (1870-1900)*. Serie Estudios 18, 289 pp. Serv. Publ. Agrarias, Min. Agricultura, Madrid.
- Dearing, J.A., Battarbee, R.W., Dikau, R., Larocque, I., Oldfield, F. 2006a. Human-environment interactions: learning from the past. *Regional Environmental Change*, 6, 1-16.
- Dearing, J.A., Battarbee, R.W., Dikau, R., Larocque, I., Oldfield, F. 2006b. Human-environment interactions: towards synthesis and simulation. *Regional Environmental Change*, 6, 115-123.
- Desprat, S., Sánchez-Goñi, M.F., Loutre, M.F. 2003. Revealing climatic variability of the last three millennia in northwestern Iberia using pollen influx data. *Earth and Planetary Science Letters*, 213, 63-78.
- Domínguez-Castro, F., Santisteban, J.I., Mediavilla, R., Dean, W.E., López-Pamo, E., Gil-García, M.J., Ruiz-Zapata, M.B. 2006. Environmental and geochemical record of human-induced changes in C storage during the last millennium in a temperate wetland (Las Tablas de Daimiel National Park, central Spain). *Tellus*, 58B, 573-585.
- Dorado-Valiño, M., Valdeolmillos, A., Ruiz-Zapata, M.B., Gil-García, M.J., Bustamante, I. 2002. Climatic changes since the Lateglacial/Holocene transition in La Mancha plain (South Central Iberian Peninsula, Spain) and their evidence in The Tablas de Daimiel marshlands. *Quaternary International*, 93-94, 73-84.
- Fagan, B. 2000. *The Little Ice Age: How Climate Made History 1300-1850*. Basic Books, New York.
- Fagan, B. 2003. *The Long Summer: How Climate Changed Civilization*. Basic Books, New York.
- Gil-García, M.J., Ruiz-Zapata, M.B., Santisteban, J.I., Mediavilla, R., López-Pamo, E., Dabrio, C.J. 2007. Late Holocene environments in Las Tablas de Daimiel (south central Iberian peninsula, Spain). *Vegetation History and Archaeobotany*, 16, 241-250.
- Haug, G.H., Günther, D., Peterson, L.C., Sigman, D.M., Hughen, K.A., Aeschlimann, B. 2003. Climate and the Collapse of Maya Civilization. *Science*, 299, 1731-1735
- Hodell, D.A., Curtis, J.H., Brenner, A.M. 1995. Possible role of climate in the collapse of Classic Maya civilization. *Nature*, 375, 391-394
- Huang, C.C., Zhao, S., Pang, J., Zhou, Q., Chen, S., Li, P., Mao, L., Ding, M. 2003. Climatic aridity and the relocations of the Zhou culture in the southern Loess Plateau of China. *Climatic Change*, 61, 361-378.
- Julià, R., Burjachs, F., Dasí, M.J., Mezquita, F., Miracle, M.R., Roca, J.R., Seret, G., Vicente, E. 1998. Meromixis origin and recent trophic evolution in the Spanish mountain lake La Cruz. *Aquatic Sciences*, 60, 279-299.
- Last, W., Smol, J.P. (eds.) 2001. *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Volume 2: Physical and Geochemical Methods*. Developments in Paleoenvironmental Research Vol. 2. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 532 pp.
- Linares, A.M. 2004. The privatisation of communal lands in Spain (1750-1925): an econometric revision of the neo-Malthusian thesis. *Asociación Española de Historia Económica, Documentos de Trabajo DT-AEHE 0403*, 37 pp.
- Martín-Puertas, C., Valero-Garcés, B., Mata, M.P., González-Samperiz, P., Bao, R., Moreno, A., Stefanova, V. 2007. Arid and humid phases in Southern Spain during the last 4000 years: The Zoñar Lake record, Cordoba. *The Holocene*, 18, 907-921.
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., Moreno, A., González-Samperiz, P., Mata, P., Romero, O., Maestro, M., Navas, A. 2008. Holocene palaeohydrology and climate variability in Northeastern Spain: the sedimentary record of Lake Estanya (Pre-Pyrenean range). *Quaternary International*, 181, 15-31.
- Matthews, H.D., Weaver, A.J., Meissner, K.J., Gillett, N.P., Eby, M. 2004. Natural and anthropogenic climate change: incorporating historical land cover change, vegetation dynamics and the global carbon cycle. *Climate Dynamics*, 22, 461-479.
- Messerli, B., Grosjean, M., Hofer, T., Núñez, L., Pfister, C., 2000. From nature-dominated to human-dominated environmental changes. *Quaternary Science Reviews*, 19, 459-479.
- Nicoll, K. 2004. Recent environmental change and prehistorical human activity in Egypt and Northern Sudan. *Quaternary Science Reviews*, 23, 561-580.
- Núñez, L., Grosjean, M., Cartajena, I. (2002). Human occupa-

Santisteban, J. I. *et al.*, 2009. La historia a través de los sedimentos: cambios climaticos... *Boletín Geológico y Minero*, 120 (3): 497-508

- tions and climate change in the Puna de Atacama, Chile. *Science*, 298, 821-824.
- Riera, S., Wansard, G., Julià, R. 2004. 2000-year environmental history of a karstic lake in the Mediterranean Pre-Pyrenees: the Estanya lakes (Spain). *Catena*, 55, 293-324.
- Rodríguez-Picavea, E. 1999. Aproximación a la geografía de la frontera meridional del Reino de Castilla (1157-1212). *Cuadernos de Historia Medieval*, 2, 29-42.
- Rosen, A.M. 1995. The social response to environmental change in Early Bronze Age Canaan. *Journal of Anthropological Archaeology*, 14, 26-44.
- Santisteban, J.I., Mediavilla, R., López-Pamo, E., Dabrio, C., Ruiz Zapata, M.B., Gil García, M.J., Castaño, S., Martínez-Alfaro, P.E. 2004. Loss on ignition: a qualitative or quantitative method for organic matter and carbonate mineral content in sediments? *Journal of Paleolimnology*, 32, 287-299.
- Santisteban, J.I., Mediavilla, R., Domínguez-Castro, F., López-Pamo, S., Gil-García, M.J., Ruiz-Zapata, M.B., Gascó, C., Castaño, S., Martínez-Alfaro, P.E., Darbio, C.J., Martínez-Santos, P. 2005. The last 1000 years of climate evolution as recorded in sediments and documentary sources in a Mediterranean inland wetland. *DEK-LIM/Pages Conference. The climate of the next millennia in the perspective of abrupt climate change during the late Pleistocene*, 195-196.
- Thompson, L.G., Davis, M.E. Mosley-Thompson, E. 1994. Glacial records of global climate: a 1500-year tropical ice core record of climate. *Human Ecology*, 22, 83-95.
- Tyson, P.D., Lee-Thorp, J., Holmgren, K., Thackeray, J.F. 2002. Changing gradients of climate change in southern Africa during the past millennium: implications for population movements. *Climate Change*, 52, 129-135.
- Valero-Garcés, B. L., Moreno, A., Navas, A., Mata, P., Machín, J., Delgado Huertas, A., González-Samperiz, P., Schwalb, A., Morellón, M., Cheng, H., Edwards, P.L. 2008. The Taravilla lake and tufa deposits (Central Iberian Range, Spain) as palaeohydrological and palaeoclimatic indicators. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 259, 136-156.
- Weiss, H., Bradley, R.S. 2001. What drives societal collapse? *Science*, 291, 609-610.
- Weiss, H., Courty, M.A., Wetterstrom, W., Guichard, F., Senior, L., Meadow, R., Curnow, A. 1993. The genesis and collapse of third millennium north Mesopotamian civilization. *Science*, 261, 995-1004.

Recibido: enero 2009

Revisado: febrero 2009

Aceptado: abril 2009

Publicado: octubre 2009