

Evolución climática durante el último siglo (1904-2002) en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel (Ciudad Real)

P. Martínez-Santos¹, S. Castaño², J.I. Santisteban³, P.E. Martínez-Alfaro⁴,
R. Mediavilla⁵ y E. López Pamo⁶

- 1 Geodinámica, Fac. Geológicas, Univ. Complut. Madrid, José Antonio Novais 2, 28040 Madrid. pemartin@geo.ucm.es
- 2 Dir. Hidrogeología y Aguas Subterráneas, Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. s.castano@igme.es
- 3 Dpto. Estratigrafía, Fac. Geológicas, Univ. Complut. Madrid, José Antonio Novais 2, 28040 Madrid. juancho@geo.ucm.es
- 4 Dpto. Geodinámica, Fac. Geológicas, Univ. Complut. Madrid, José Antonio Novais 2, 28040 Madrid. pema@geo.ucm.es
- 5 Dir. Geología y Geofísica, Instituto Geológico y Minero de España, La Calera 1, 28760 Tres Cantos (Madrid). r.mediavilla@igme.es
- 6 Dir. Recursos Minerales y Geoambiente, Instituto Geológico y Minero de España, Ríos Rosas 23, 28003 Madrid. e.lopez@igme.es

ABSTRACT

Las Tablas de Daimiel National Park (Ciudad Real, central Spain) is a very delicate wetland that during the last century has experienced noticeable human-induced modifications. In order to understand the relations among climate, environment dynamics and human activity in this area, detailed analyses of meteorological series are required. Analysis of meteorological series corresponding to nine weather stations close to the Las Tablas de Daimiel National Park allows the reconstruction of regional climate for the 1904-2002 period. Four periods have been identified based on temperature records: 1904-1937, cold; 1938-1958, warm; 1959-1990, cold; 1991-2002, warm. Other four periods are identified considering rainfall variability: 1904-1954, dry; 1955-1979, wet; 1980-1995, dry; 1996-2002, wet. A comparison of the climatic series to the main hydrological events reveals that there is no clear relationship between climate evolution and hydrology. Consequently, we argue that the human control over the environment evolution for the last 50 years has been more significant than the climatic and endogenic controls.

Key words: regional climatic trends, wetlands, southern Spanish meseta, environment-climate-man interactions, 20th century.

INTRODUCCIÓN

El sistema natural del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel es un humedal fluvial muy sensible a cualquier tipo de perturbación dadas sus características morfológicas, bio-

lógicas e hidrológicas. Por ello, este sistema es idóneo para evaluar la fiabilidad de los indicadores paleoclimáticos basados en registros geológicos. La investigación en desarrollo plantea una comparación de los registros instrumentales y documentales de los últimos años referentes a la climatología, hidrología y la actividad humana con los registros geoquímicos, sedimentológicos y paleontológicos, para los últimos 3000 años, obtenidos en sondeos realizados en el área de estudio. Este registro está compuesto fundamentalmente por fangos siliciclásticos con abundante yeso, fangos y arenas carbonatadas compuestas por fragmentos de caráceas y fangos orgánicos-turbas.

Como un paso inicial de este proceso, el análisis de las series meteorológicas instrumentales del último siglo nos permite:

1. Determinar las tendencias o períodos climáticos y los eventos puntuales que puedan tener reflejo en el registro sedimentario reciente.
2. Utilizar dichos hitos para calibrar las edades radiométricas absolutas de los materiales estudiados.
3. Evaluar la influencia del clima, frente a la presión humana, en el registro sedimentario de Las Tablas de Daimiel.

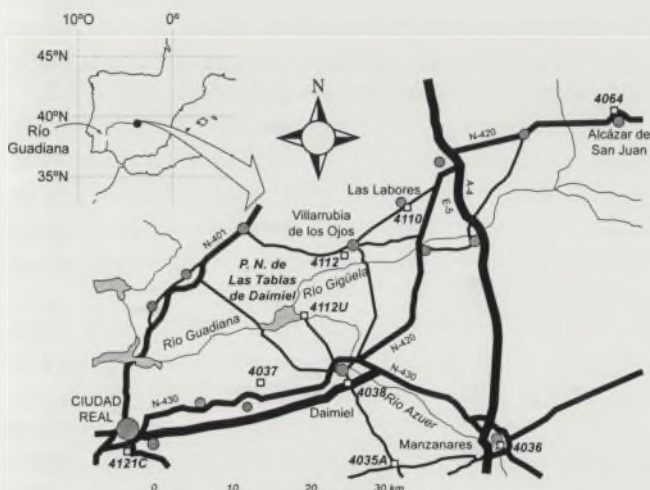


FIGURA 1. Situación de las estaciones meteorológicas con registro estudiado (cuadrados) y del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel.

TABLA 1. Localización y período para las estaciones meteorológicas estudiadas.

Período	Estación	Long.	Lat.	Elev.
1982-2002	Tablas de Daimiel (4112U)	3°41'47"	39°08'10"	619 m
1961-1982	Daimiel (4038)	3°44'01"	39°06'44"	610 m
1946-1996	Daimiel (4037)	3°36'17"	39°04'14"	615 m
1946-2002	Villarrubia (4112)	3°36'39"	39°13'08"	625 m
1947-1997	Las Labores (4110)	3°31'07"	39°16'30"	650 m
1911-1992	Manzanares (4035A)	3°22'47"	39°00'00"	660 m
1956-2000	Manzanares (4036)	3°32'07"	38°58'40"	660 m
1913-2002	Alcázar de San Juan (4064)	3°12'43"	39°23'18"	664 m
1904-1970	Ciudad Real (4121C)	3°55'43"	38°59'21"	627 m

MÉTODOS Y RESULTADOS

Los primeros resultados de estos análisis se centran en la evolución de las precipitaciones y las temperaturas de 1904 a 2002. Para ello, se han recopilado los datos meteorológicos diarios de nueve estaciones próximas a la zona de interés (Fig. 1, Tabla 1). Las series se caracterizan por la ausencia de datos para lapsos distintos según la estación meteorológica y por abarcar rangos de tiempo diferentes (Tabla 1), por lo que se ha elaborado una serie meteorológica de referencia (completada). Debido a la proximidad entre las estaciones y la similitud de sus registros (Álvarez Cobelas y Verdugo, 1996) esta serie se construyó a partir de varias estaciones según el período.

Para el período 1904-1949, la serie de Ciudad Real (4121C) es la más larga y completa y los datos incompletos provienen de las series de Alcázar de San Juan (4064) y Manzanares (4035A). Para el período 1950-2002 las estaciones base son la de Las Tablas de Daimiel (4112U) y Villarrubia de los Ojos (4112), usándose las series de Daimiel "Instituto Laboral" (4037) y Alcázar de San Juan (4064) para completar los datos.

Los datos correspondientes a las precipitaciones de 1934 y la segunda mitad de 1937 y las temperaturas de las mismas fechas y la primera mitad de 1939 se obtuvieron mediante el promedio de los meses correspondientes para los cinco años anteriores y posteriores.

Los valores promediados por meses y años muestran grandes variaciones según la escala temporal de observación

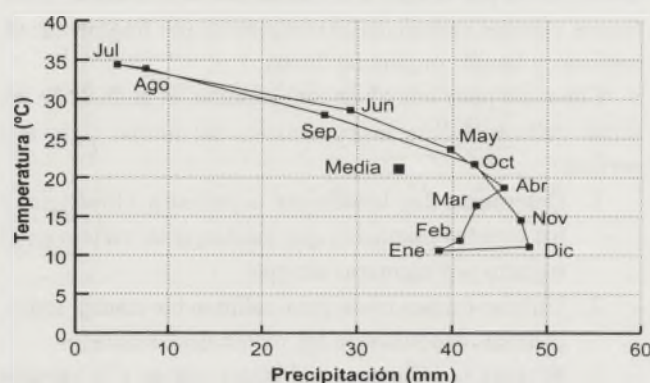


FIGURA 2. Climograma de Taylor para el entorno de Las Tablas de Daimiel, período de referencia: 1904-2002.

TABLA 2. Máximos y mínimos anuales, mensuales y diarios de las estaciones estudiadas.

	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Media (1904-2002)	412.6	21.1
Máximo anual	860.2 (1996)	25.5 (1945)
Mínimo anual	144.5 (1938)	18.8 (1971)
Máximo mensual	323.4 (12/1996)	42.1 (7/1950)
Mínimo mensual	0.0	4.5 (1/1965)
Máximo diario	156.5 (30/9/1988)	48.0 (2, 3/8/1957)
Mínimo diario	0.0	-18.0 (20/2/1965)

(Tabla 2), de modo que los datos han de analizarse para cada una de estas escalas a fin de evitar interpretaciones erróneas.

A partir de los promedios (temperatura) y valores acumulados (precipitación) mensuales para el período 1904-2002, se elaboró un climograma de Taylor que permite tipificar el clima de la zona de estudio como mediterráneo continentalizado, con un verano extremadamente seco y caluroso (meses de julio y agosto) y unos rangos muy próximos a la media para los restantes meses (Fig. 2). Sin embargo, el análisis de los datos mensuales (Tabla 3) muestra una gran dispersión en los valores y sus estadísticos.

Los períodos climáticos que se identifican entre 1904 y 2002 (Fig. 3) son diferentes a los obtenidos por otros autores (Álvarez Cobelas y Verdugo, 1996), que utilizan series temporales más reducidas en el tiempo y parten de una única estación meteorológica. En cambio, son similares a los obtenidos por Martínez-Cortina (2003) para toda la Cuenca Alta del Guadiana.

Con respecto a la temperatura, el período 1904-1937 muestra valores medios anuales claramente inferiores a la media de referencia (1904-2002) y sólo años muy concretos superan ese valor (1904, 1914, 1920-21, 1926).

El período 1938-1958 es cálido (se dan los máximos anuales, mensuales y diarios, tabla 2) y sólo la temperatura media anual de 1940 estuvo por debajo de la del siglo.

Las temperaturas se mantuvieron de nuevo predominantemente por debajo de la del siglo para el período 1959-1980, y aunque nueve años superaron la media del siglo, es también en este período cuando se alcanzaron los valores mínimos anuales, mensuales y diarios (Tabla 2) y la oscilación interanual fue superior a la del período 1904-1937.

La última etapa cálida abarca desde 1981 hasta el 2002 cuando se produce un ligero incremento de las temperaturas que no llegan a alcanzar los valores de 1938-1958. Son frecuentes los años con valores inferiores a la media y el rango de la oscilación interanual se reduce con respecto al período cálido anterior.

Los períodos de precipitación entre 1904 y 2002 coinciden con los delimitados por Álvarez Cobelas y Verdugo (1996) y se incluye uno adicional: 1996-2002 (Fig. 3).

El período 1904-1954 fue una fase seca con dominio de los años por debajo de la media de referencia (1904-2002) y suaves oscilaciones interanuales, y es cuando se alcanza el mínimo anual del siglo (1938). A partir de 1939 se observa un aumento gradual de las precipitaciones.

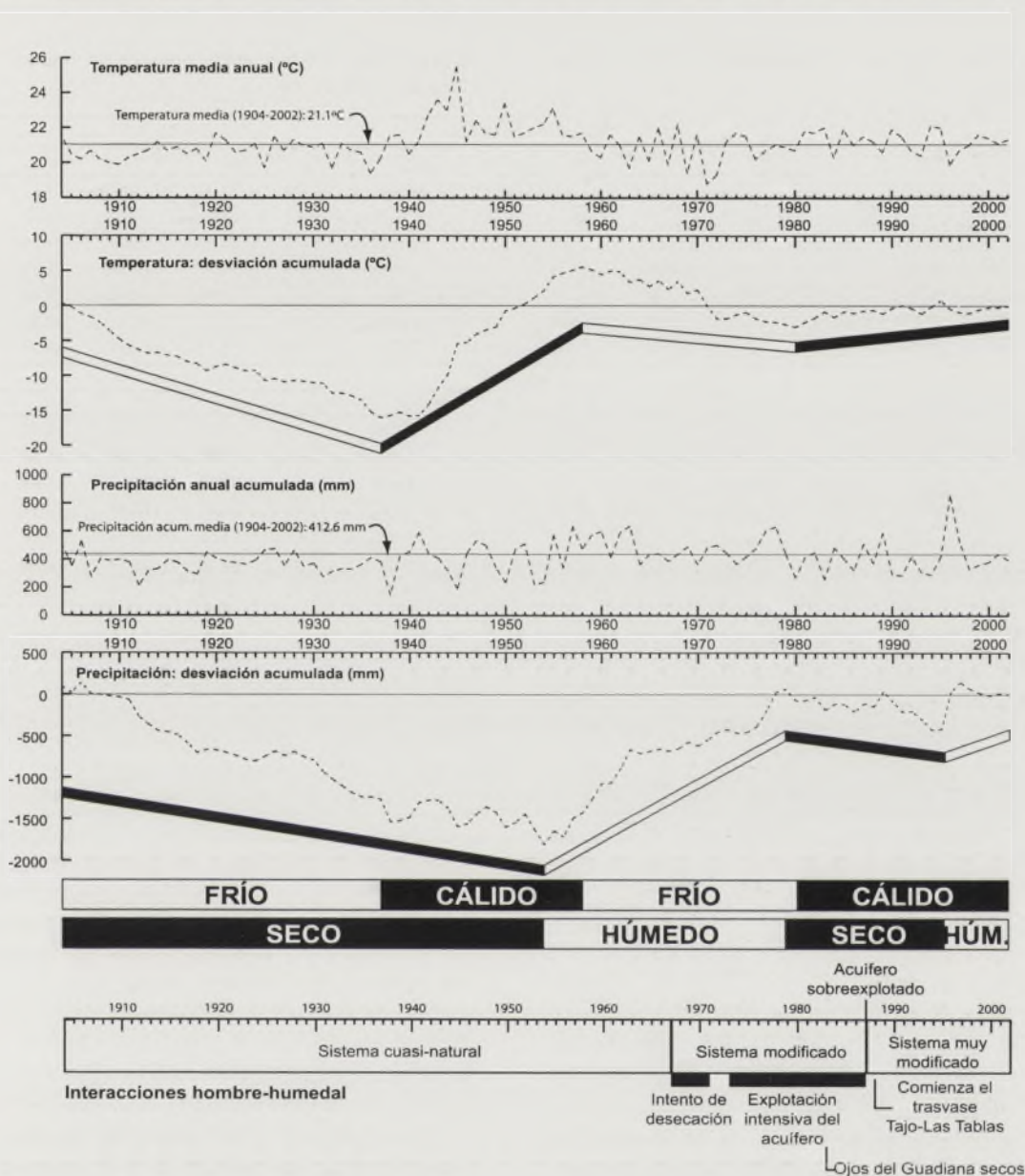


FIGURA 3. Evolución temporal de los valores anuales (precipitación y temperatura) para 1904-2002 y principales acciones del hombre sobre el medio.

El período 1955-1979 fue húmedo, con oscilaciones interanuales suaves, algo por encima de la media, sin que se registre ninguna de las máximas de precipitación; intercalado en él se diferencia un período entre 1964 y 1975 en el que las precipitaciones disminuyeron significativamente.

Los años entre 1980 y 1995 son un intervalo seco; sólo en 1987 y 1989 se alcanzaron valores claramente por encima de la media. Se observa una tendencia al incremento de las precipitaciones truncada por un descenso brusco durante los años 1990 a 1995. Es de destacar que el máximo de precipitación diaria registrado se da en este intervalo (Tabla 2).

Los años 1996 a 2002 corresponden a un período húmedo. Aunque los años 1998 a 2000 y el 2002 estuvieron por debajo de la media, las máximas precipitaciones anuales y mensuales se dieron en este período (Tabla 2) y los años 1996 y 1997 tuvieron precipitaciones muy por encima de la media. Para poder comprobar esta tendencia, habrá que esperar la evolución de las precipitaciones en años próximos.

LA ACTIVIDAD HUMANA

Hay constancia de los cambios directos provocados por el hombre desde el siglo XII, en el que la introducción de los molinos conllevó modificaciones del entorno para garantizar su funcionamiento (represamientos, etc.). Sin embargo, las mayores modificaciones del medio se produjeron durante el siglo XX.

Ya con anterioridad a 1960 se secaban extensas áreas por la sobreexplotación de las aguas para uso agrícola, y esto, junto con la insalubridad de la zona, llevó al principal intento de desecación de Las Tablas de Daimiel (1967-1971). A pesar de su declaración como Parque Nacional (1973), la sobreexplotación de las aguas llevó a la declaración de acuífero sobreexplotado en 1987 (los Ojos del Guadiana dejaron de funcionar en 1982). Como solución, a partir de 1988 se iniciaron los trasvases desde el trasvase Tajo-Segura si bien tanto la cantidad de agua aportada como las fechas de inun-

TABLA 3. Estadísticos básicos de las series de precipitación y temperatura completas. Q75: cuartil superior; Q25: cuartil inferior; IQR: rango intercuartil.

Precipitaciones												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máximo	182.00	160.19	132.50	129.89	153.00	149.68	44.50	70.00	99.00	151.92	134.40	323.40
Q75	49.97	67.63	62.90	60.49	53.72	37.47	4.25	10.15	38.40	62.75	64.52	62.15
Mediana	30.84	34.75	33.10	43.23	34.50	21.92	0.00	2.02	20.35	34.00	41.54	34.79
Q25	14.29	11.82	18.50	23.82	18.31	9.10	0.00	0.00	6.97	17.36	21.30	18.11
Mínimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Media	38.62	40.76	42.50	45.42	39.81	29.29	4.47	7.55	26.56	42.32	47.22	48.10
IQR	35.68	55.82	44.40	36.68	35.42	28.38	4.25	10.15	31.43	45.39	43.22	44.04
Temperatura												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máximo	16.35	17.67	23.24	27.85	31.50	34.51	42.10	39.10	34.05	27.67	20.30	15.41
Q75	11.50	13.08	17.90	20.09	25.60	30.60	35.65	35.21	29.80	23.10	15.57	12.06
Mediana	10.57	11.78	16.38	18.48	23.11	28.69	34.39	33.86	27.63	21.66	14.49	10.99
Q25	9.75	10.70	14.72	17.40	21.67	27.01	33.14	32.89	26.15	20.40	13.35	10.30
Mínimo	4.50	7.10	11.33	14.00	17.10	18.70	28.60	25.40	21.50	15.70	8.60	6.30
Media	10.57	11.87	16.44	18.74	23.57	28.56	34.44	33.91	27.98	21.74	14.50	11.06
IQR	1.75	2.38	3.18	2.69	3.93	3.59	2.51	2.32	3.65	2.70	2.22	1.76

dación dependen de la disponibilidad de caudal tras cubrir otras necesidades y las calidades de las aguas aportadas no coinciden con las calidades de las aguas originales.

Así pues, tras un período en el que la interacción del hombre con el medio se mantiene dentro de unos límites sostenibles (hasta 1967, sistema cuasi-natural), la intensificación de la agresión contra el sistema define un período en el que hay una dura competencia entre el sistema natural y la acción humana (1967-1987, sistema modificado) para finalizar con un período en el que el sistema ya no es capaz de funcionar sin el soporte externo (1987-actualidad, sistema muy modificado).

Comparadas estas fechas con los principales períodos climáticos (Fig. 3) se aprecia que no coinciden la actuación humana y los cambios en el clima, por lo que se concluye que las modificaciones antrópicas no son condicionadas por el clima sino por factores externos al medio natural (socioeconómicos y políticos).

CONCLUSIONES

El análisis de series meteorológicas es una herramienta útil en estudios paleoclimáticos como contraste de otros indicadores: sedimentarios, geoquímicos o paleontológicos.

Sin embargo, los métodos de análisis de estas series presentan problemas para su aplicación al estudio del registro sedimentario tales como:

1. La escala espacial en estudios meteorológicos/climáticos es de un rango muy superior a la variabilidad espacial de los ambientes sedimentarios continentales. Por ello, las técnicas de confección de series meteorológicas de referencia no son las mejores para el contraste de indicadores paleoclimáticos.
2. Si bien el análisis de series meteorológicas suele realizarse a partir de promedios mensuales o, más frecuentemente para series temporales largas, anuales, es evidente que estos datos proporcionan una información incompleta. Esto condiciona la correlación de los parámetros meteorológicos con indicadores

paleoclimáticos resultado de procesos de ciclo más corto (mensuales o submensuales) o eventos (como las lluvias de septiembre de 1988 o las temperaturas de inicios de agosto de 1957).

La acción reciente del hombre ha modificado el balance hidrológico de Las Tablas de Daimiel (Berzas *et al.*, 2000; Álvarez Cobelas *et al.*, 2001) de acuerdo con necesidades impulsadas más por la economía, política o tecnología que por los cambios climáticos. Estas modificaciones han de considerarse a fin de poder establecer el peso de cada componente en el registro sedimentario.

AGRADECIMIENTOS

Financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (proy. REN2002-04433-CO2/01). El Instituto Nacional de Meteorología ha proporcionado los datos meteorológicos.

REFERENCIAS

- Álvarez Cobelas, M. y Verdugo, M. (1996): Climatología. En: *Las Tablas de Daimiel: Ecología acuática y sociedad* (M. Álvarez Cobelas y S. Cirujano, Eds.). Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Madrid, 47-55.
- Álvarez Cobelas, M., Cirujano, S. y Sánchez Carrillo, S. (2001): Hydrological and botanical man-made changes in the Spanish wetland of Las Tablas de Daimiel. *Biological Conservation*, 97: 89-98.
- Berzas, J.J., García, L.F., Rodríguez, R.C. y Martín Álvarez, P.J. (2000): Evolution of the water quality of a managed natural wetland: Tablas de Daimiel National Park (Spain). *Water Research*, 12: 3161-3170.
- Martínez-Cortina, L. (2003): Marco hidrológico de la Cuenca Alta del Guadiana. En: *Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales: la cuenca alta del Guadiana* (C. Coletto, L. Martínez Cortina y M.R. Llamas, Eds.). Ed. Mundi-prensa, Madrid, 3-68.

Relación entre los procesos atmosféricos y oceánicos a escala milenaria a partir del registro climático de los últimos 50.000 años del Mar de Alborán (Mediterráneo Occidental)

A. Moreno¹, I. Cacho², M. Canals², J.O. Grimalt³ y F.J. Sierro⁴

1 Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Avda. Montañana 1005, 50080 Zaragoza. amoreno@ipe.csic.es

2 GRC Geociències Marines, Universitat de Barcelona, C/ Martí i Franqués, s/n, 08028 Barcelona. isabel@natura.geo.ub.es, miquel@natura.geo.ub.es

3 Instituto de Química Ambiental, CSIC, C/ Jordi Girona 18, 08034 Barcelona. jgoqam@iiqab.csic.es,

4 Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n, 37008 Salamanca. sierro@gugu.usal.es

ABSTRACT

A wide multi-proxy dataset obtained from the extensively studied IMAGES core MD95-2043 recovered in the Alboran Sea (Western Mediterranean) is selected to analyze periodicities and phase relationships of the different oceanographic and atmospheric processes investigated at the millennial time-scale. The 1,470-yr cycle is the most significant cycle for the considered records with the exception of those reflecting conditions on land that show the higher significance at 3,300 and 8,000 frequency bands. This study allows establishing the evolution of oceanographic and atmospheric mechanisms that influenced the Western Mediterranean region in the course of a Dansgaard/Oeschger cycle thus making possible land-sea comparison in terms of timing of the different climatic processes.

Key words: Mediterranean Sea, multi-proxy approach, D/O variability, spectral and phase analyses.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años gran parte de la investigación paleoclimática se ha volcado en la identificación, caracterización y posterior modelización de los cambios abruptos que se produjeron durante el último ciclo glacial, conocidos como los ciclos de Dansgaard-Oeschger (D/O). Estas variaciones climáticas rápidas fueron inicialmente descritas a partir del estudio de sondeos de hielo de Groenlandia (Dansgaard *et al.*, 1984) y estudios posteriores han constatado la presencia de esta variabilidad rápida en una amplia variedad de registros paleoclimáticos muy extendidos en la geografía terrestre. Los ciclos de D/O constan de un intervalo frío (estadial) que pasa a uno cálido (interestadial) bruscamente. Se ha observado que la mayor parte de ellos se agrupan en los denominados ciclos de Bond, que consisten en conjuntos de cuatro ciclos progresivamente más fríos y que culminan en un estadial particularmente prolongado y simultáneo a uno de los eventos de Heinrich descritos en el Atlántico Norte. A pesar de los esfuerzos dedicados al estudio de estas variaciones climáticas de escala milenaria, las causas originales de su desencadenamiento, los mecanismos por los que se transfieren entre regiones remotas, así como el motivo por el que se desarrollan con una periodicidad de 1.500 años son todavía objeto de discusión. Por lo tanto, se hace necesario para contribuir a

desentrañar el origen de los ciclos de D/O, el estudio detallado de registros paleoclimáticos en zonas sensibles a estos cambios climáticos rápidos y con suficiente tasa de sedimentación para resolver la escala de pocos cientos de años.

El sondeo MD95-2043 del Mar de Alborán (36°8,6'N; 2°37,3'O, 1.841 m. de profundidad) constituye un registro sedimentario ampliamente estudiado desde diferentes perspectivas paleoclimáticas y por ello se disponen de datos que cubren una variedad excepcional de indicadores paleoambientales y procesos tanto marinos como atmosféricos asociados. Dado que todos estos indicadores proceden del mismo registro sedimentario las incertidumbres cronoestratigráficas se reducen a la resolución del muestreo. Además, su posición geográfica a caballo entre África y Europa lo sitúa bajo la influencia simultánea de procesos climáticos de altas y bajas latitudes haciendo posible el estudio paralelo de mecanismos muy diferentes. Estos sedimentos han permitido investigar la evolución de una variedad de procesos de origen tanto oceánico como atmosférico a lo largo de los últimos 50.000 años en el Mediterráneo Occidental con una resolución temporal de 100-200 años (Cacho *et al.*, 1999; Cacho *et al.*, 2000; Moreno *et al.*, 2002; Sánchez-Goñi *et al.*, 2002). El trabajo que aquí se presenta recopila parte de los resultados más significativos obtenidos en el sondeo MD95-2043 con el objetivo de indagar en la relación temporal entre