

# Respuesta de los Cocolitofóridos a los cambios atmosféricos y oceanográficos durante el Periodo Húmedo Africano del Holoceno en el Atlántico.

*Response of Coccolithophores to atmospheric and oceanographic changes during the Holocene African Humid Period in the Atlantic.*

A. Mejía-Molina <sup>(1)</sup>, J.A. Flores <sup>(1)</sup>, M.A. Bárcena <sup>(1)</sup>, F.J. Sierro <sup>(1)</sup> y F. Grousset <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. C/ Balmes s/n, 37008 Salamanca, España. alejandra@usal.es, flores@usal.es mbarcelona@usal.es sierro@usal.es

<sup>(2)</sup> CNRS. UMR 5805 EPOC, Université Bordeaux I. Ave. des Facultés, 33405 Talence, France. f.grousset@epoc.u-bordeaux1.fr

## ABSTRACT

Core MD03 2705 was recovered at 18°N-21°W at a water depth of 3100 m off Mauritania-Senegal (NW Africa) during the Marion Dufresne II Cruise PICABIA. Qualitative analyses carried out in coccolithophores and wind-transported microfossils from continental NW African areas (phytoliths and fresh-water diatoms), allow us to interpret variations in the direction and intensity of winds and their relationship with surface water dynamics during the Holocene African Humid Period (AHP) (9-5.5 ka). The terrigenous record exhibits a well-defined period of low influx associated with the AHP, when the Sahara was near completely vegetated and covered by perennial lakes. Variations in the production of coccolithophores, showing high productivity during the wet conditions, were monitored. A rapid shift to arid conditions at the end of the AHP coincides with higher abundance in fresh-water diatoms and phytoliths, as well as a positive pulse in the Ti/Al ratio, suggesting intensification in the wind regime. At this time, coccolithophores show a dramatic decreasing of the cool-water species *Gephyrocapsa muelleriae*, interpreted as a return to warmer conditions.

**Key words:** Atlantic Ocean, Northwest Africa, Holocene, African Humid Period, Coccolithophores, Paleoceanography.

*Geogaceta*, 39 (2006), 99-102  
ISSN: 0213683X

## Introducción

La costa Noroccidental de África es actualmente una región de intensa productividad primaria debido a los intensos procesos de surgencia que tienen lugar en el margen continental. Normalmente, esa productividad se reduce hacia el W definiéndose amplias áreas oligotróficas. Los vientos Alisios del Norte y las fluctuaciones de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) dan lugar a variaciones estacionales, afectando a la dinámica y caracterización oceánica de esa región. El Norte de África es un área fuente muy importante de suministro de polvo, que no sólo alcanza el Océano Atlántico, sino las lejanas costas de América (Prospero, 1996). Durante el Pleistoceno final y el Holoceno reciente, el ahora extremadamente árido desierto del Sahara fue una región verde, casi completamente vegetada (deMenocal *et al.*, 2000), condiciones que terminaron abruptamente

hacia los 5 ka en lo que ha sido denominado Periodo Húmedo Africano del Holoceno (AHP, *Holocene African Humid Period*).

En este estudio, se presentan los resultados derivados de la identificación y registro de la abundancia de los cocolitofóridos analizados del testigo MD03 2705, recuperado en la costa NW de África y su correlación con la señal de suministro de polvo africano al área y otros indicadores continentales.

Las algas cocolitoforales son uno de los principales productores de sedimentos calcáreos en los océanos, tienen influencia en los ciclos bioquímicos globales y son fundamentales para entender el papel del océano como sumidero de CO<sub>2</sub> en el ciclo global del carbono. El análisis del registro sedimentario, la presencia de sus diferentes taxones con sus respectivas características ecológicas, su evolución y momentos de aparición o extinción cronológicamente datados, permiten la reconstrucción de

las condiciones paleoceanográficas de las aguas superficiales y su relación con las variaciones paleoclimáticas.

## Noroeste africano: Escenarios climático y paleoclimático

El área de extracción del testigo está situada en una zona oligotrófica que no está relacionada directamente con las surgencias ecuatorial y del Norte de África, pero donde la fluctuación estacional de la ZCIT puede modificar las características del agua superficial, afectando la distribución de las precipitaciones y el régimen de vientos. Durante el Pleistoceno final y el Holoceno reciente, las condiciones actuales de extrema aridez que el desierto del Sahara (y gran parte de África del Norte) exhiben, fueron las opuestas: una región verde, casi completamente vegetada (Claussen y Gayler, 1998; deMenocal, 2004). En este tiempo, el Norte de África estaba caracterizado por la presencia de nume-

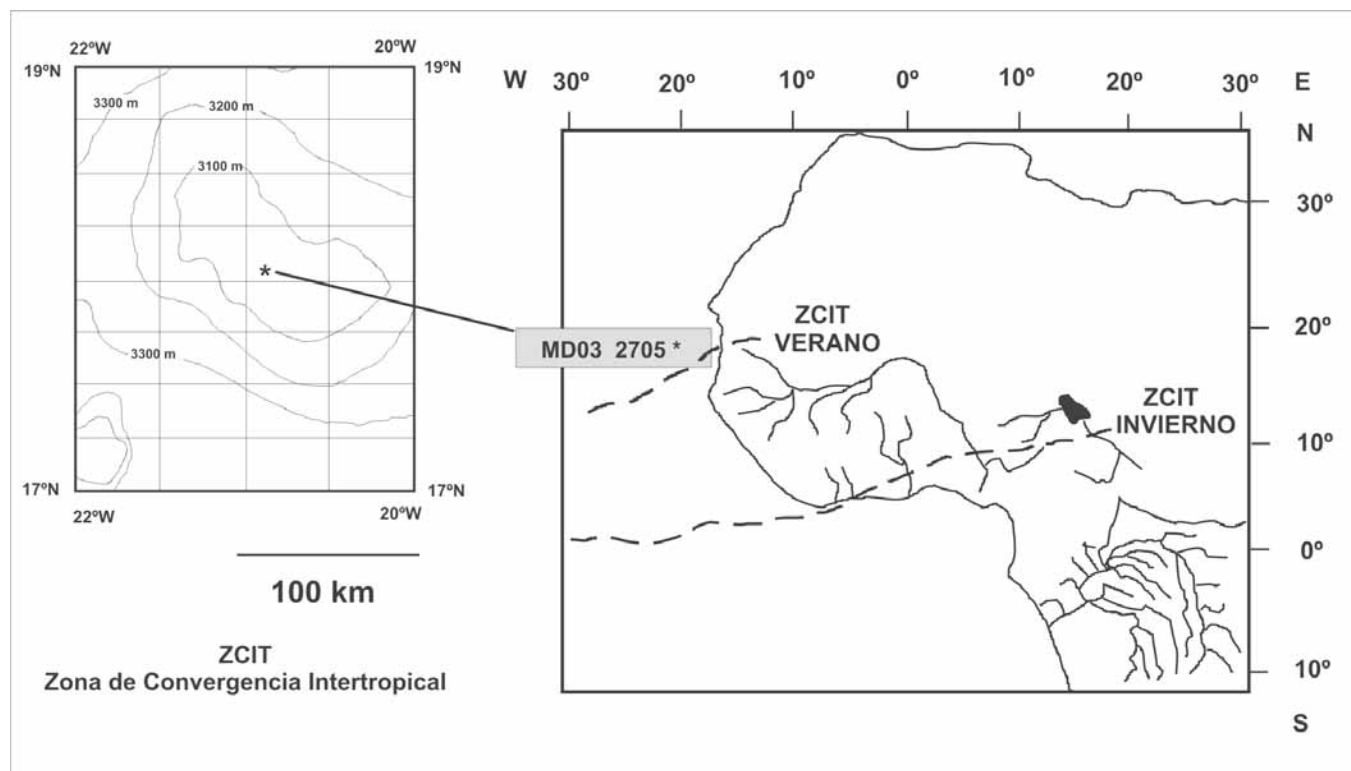


Fig. 1.- Localización geográfica del testigo MD03 2705. Posición de la ZCIT en el verano e invierno (líneas punteadas).

Fig. 1.- Geographical setting of core MD03 2705. Summer and winter position of ZCIT (dashed lines).

rosos y extensos lagos que contribuirían al desarrollo de amplias praderas alcanzando hasta los 23° N (Claussen y Gayler, 1998), donde se desarrolló una fauna asociada a márgenes lacustres, así como asentamientos humanos en regiones donde hoy en día el registro de pluviosidad es muy bajo (McIntosh y McIntosh, 1983). Estas condiciones terminaron abruptamente hacia los 5-6 ka.

#### Técnicas analíticas

El testigo MD03 2705 DUST fue recuperado en el año 2003 al NW de África, entre los 18° N y 21° W, sobre el istmo submarino que comunica África con las Islas Cabo Verde, a una profundidad de 3100 m (Fig. 1). El muestreo fue realizado en junio de 2004 mediante el cuarteado de las secciones en intervalos de 3 cm. La preparación de las muestras para estudios de nanofósiles calcáreos fueron realizados de acuerdo a la técnica de decantación de Flores y Sierro (1997). Las observaciones se realizaron mediante un microscopio petrográfico (1250X) y, ocasionalmente, con un microscopio electrónico de barrido. En el recuento de nanofósiles calcáreos se consideraron entre 400 y 500 cocolitos por placa, suficiente para alcanzar una resolución del 99%.

Para la preparación y recuento de partículas silíceas aerotransportadas (fitolitos y diatomeas lacustres) se siguió la técnica descrita por Bárcena *et al.* (2001). Los análisis isotópicos, sedimentológicos y geoquímicos, entre otros indicadores, fueron realizados en la Universidad de Burdeos.

#### Cronoestratigrafía

El modelo de edad del testigo MD03 2705 fue realizado a partir de los datos de isótopos de oxígeno extraídos del análisis de la especie de foraminífero bentónico *Fombotia wuellerstorfi* donde los eventos isotópicos identificados en el testigo fueron calibrados con las edades de la curva SPECMAP propuestas (Martinson *et al.*, 1987). El modelo de edad propuesto permite dividir el testigo en varios sectores que representan el registro continuo de los últimos 22 ka aproximadamente, con una tasa de sedimentación media de 8,6 cm/ka. El registro comprende los Estadios Isotópicos Marinos (*Marine Isotopic Stages*) MIS 1 y MIS 2. El AHP se ha establecido entre los 9 a 5,5 ka (deMenocal *et al.*, 2000; Zhao *et al.*, 2000). En el testigo estudiado este tramo se sitúa entre los 54 a 126 cm (Figs. 2 y 3).

#### Resultados

La tasa de acumulación de cocolitos (TAC), que representa el flujo de cocolitos a través de un área determinada para un intervalo de tiempo concreto, presenta valores elevados en el MIS 2, disminuyendo levemente hacia el final del AHP (Fig. 2), a partir de donde se incrementa rápidamente hasta alcanzar los máximos valores hacia el Holoceno reciente, correspondiente con el máximo de flujo de polvo para el tramo estudiado (Fig. 3).

Otros taxones de cocolitoforidos identificados en el testigo y característicos de asociaciones cálidas muestran un notorio incremento general, que alcanza valores hasta del 20%. Hacia el final del AHP disminuyen rápidamente llegando a valores cercanos al 5%, a partir del cual aumentan hasta un máximo del 15%. Hacia el techo del registro se observa un leve aumento (Fig. 2). Los taxones que dominan la asociación, *Florisphaera profunda*, *Emiliania huxleyi* (<4mm) y «Small» *Gephyrocapsa* (<3 mm); presentan para el Holoceno puntos de inflexión en la terminación del AHP. *Gephyrocapsa muelleriae*, taxón asociado a condiciones frías, muestra un aumento progresivo hacia el AHP donde alcanza abundancias cercanas al 15%. A

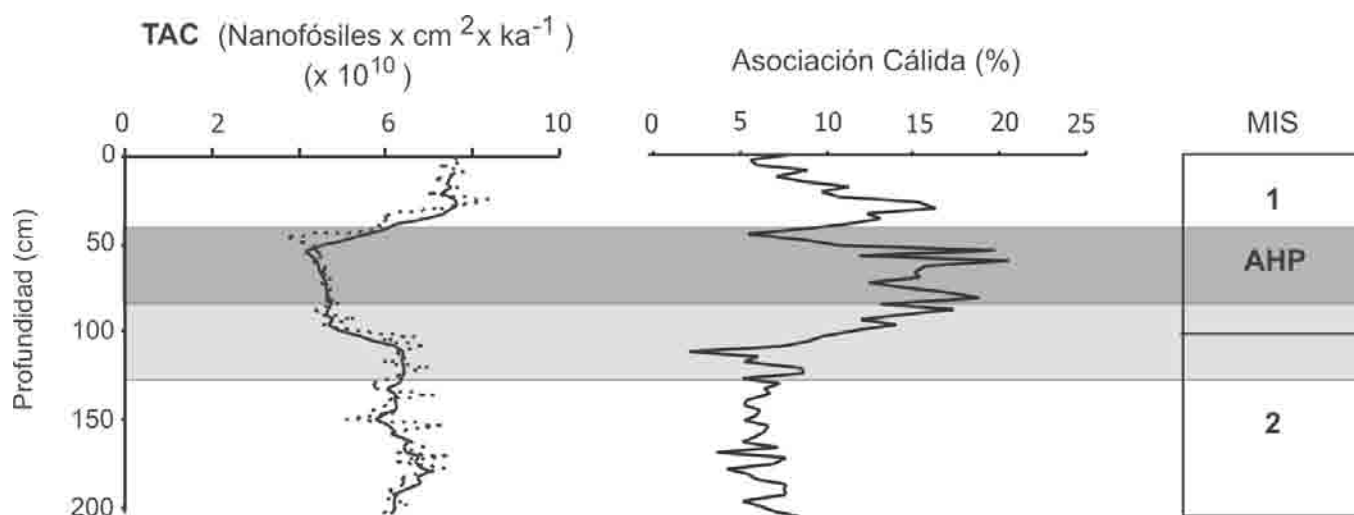


Fig. 2.- Abundancia relativa de taxones de la «Asociación Cálida» (%) y valores de la TAC (Abundancia Total de Cocolitos). Inicio de las condiciones húmedas para el MIS 1 (barra en gris claro) y AHP (barra en gris oscuro).

Fig. 2.- Relative abundance of «Warm taxa» (%) and values of TAC (Total Accumulation of Coccoliths). Onset of wet conditions at MIS 1 (light grey bar) and AHP (dark grey bar).

partir del nivel de 50 cm disminuye abruptamente hasta permanecer en valores muy bajos en el resto del Holoceno, donde no supera el 2% (Fig. 3).

Desde finales del MIS 2 el aporte de polvo (deducido de la relación Ti/Al y de los datos de susceptibilidad magnética), disminuyen gradualmente (Fig. 3). Hacia los 50 cm presenta un aumento considerable, alcanzando el aporte máximo de todo el registro del testigo. En el resto del Holoceno se observan leves fluctuaciones hasta iniciar de nuevo un incremento paulatino hacia el final de este periodo. No obstante, la curva de susceptibilidad magnética no presenta un comportamiento tan acusado para el mismo nivel. La abundancia de diatomeas de agua dulce muestra un descenso sucesivo desde la parte media del MIS 2, tendencia que se mantendría hasta el final del AHP, desde donde empieza a aumentar, con un leve descenso en el final del Holoceno. Un comportamiento similar se refleja en la curva de abundancia de fitolitos, salvo por las marcadas oscilaciones en el inicio de las condiciones húmedas hasta el final del AHP. (Fig. 3).

## Discusión

Estudios basados en registros de sedimentos marinos y continentales (fluctuación en el nivel de lagos), han mostrado que los patrones climáticos y de vegetación del NW africano han estado alternando a lo largo del Pleistoceno (Gasse, 2000). En la primera parte del Holoceno habrían existido condiciones de mayor humedad y aridez que las que actualmen-

te caracterizan esta región. Grandes extensiones de los actuales desiertos estuvieron vegetados durante el AHP (Hoelzmann, 2000). La abundancia de terrígenos eólicos habría aumentado abruptamente hacia los 5,5 ka permaneciendo relativamente elevada el resto del Holoceno. Este incremento súbito correspondería con la terminación de las condiciones húmedas y con el rápido inicio de mayor aridez y cese de lluvias en el Norte de África (deMenocal *et al.*, 2000). Estas variaciones se manifestaron igualmente en cambios en las características oceánicas, con diferencias en la productividad superficial y en la temperatura de las masas de agua.

La asociación de cocolitofóridos y de algunos de los indicadores físico-químicos (relación Ti/Al y susceptibilidad magnética, entre otros) del testigo MD03 2705 responde de manera más clara a la terminación súbita del AHP que al comienzo del mismo, donde las condiciones cálidas y húmedas se habrían dado desde finales del MIS 2 (tras la Deglaciación) para dar paso a un escenario climático más árido, pero igualmente cálido, marcado por un masivo aporte de polvo africano hacia el Atlántico. Estas características se mantendrían, en términos generales, para el resto del Holoceno.

Durante el AHP, la TAC presenta valores altos y constantes indicando una productividad superficial relativamente alta con abundancia de taxones cálidos. Tras el final de las condiciones húmedas, el máximo de polvo registrado marcaría el rápido aumento en los valores de la TAC, confirmando la relación entre el

alto contenido de polvo, probablemente como consecuencia del dominio de las condiciones de aridez indicadas para el NW de África en este periodo (deMenocal *et al.*, 2000; Zhao *et al.*, 2000) y una mayor productividad superficial en el océano, como consecuencia de intensificación de procesos de mezcla en la zona superior de la columna de agua.

La distribución de *Gephyrocapsa muelleriae* y algunos taxones de la asociación cálida marcarían el aumento de temperaturas que habrían experimentado las masas de agua tras la terminación de las condiciones húmedas en el AHP.

El mayor contenido de diatomeas de agua dulce en el registro sedimentario se relaciona con el descenso en el nivel de los lagos que llevaría a una exposición de su fondo (deseccación), que con la acción de los vientos, haría que estos elementos pudieran ser transportados lejos de su lugar de origen. La mayor presencia de fitolitos (partículas silíceas de gramíneas) estarían indicando la presencia de cobertura vegetal, con ocasionales incendios durante la estación seca (Flores *et al.*, 2000; Bárcena *et al.*, 2001). En el final del AHP se incrementa la cantidad de diatomeas de agua dulce y fitolitos en el testigo, sin embargo, las mayores abundancias se habrían alcanzado en un nivel superior después de la terminación del AHP.

## Conclusiones

El AHP en el sector Atlántico del NE africano se caracteriza por presentar

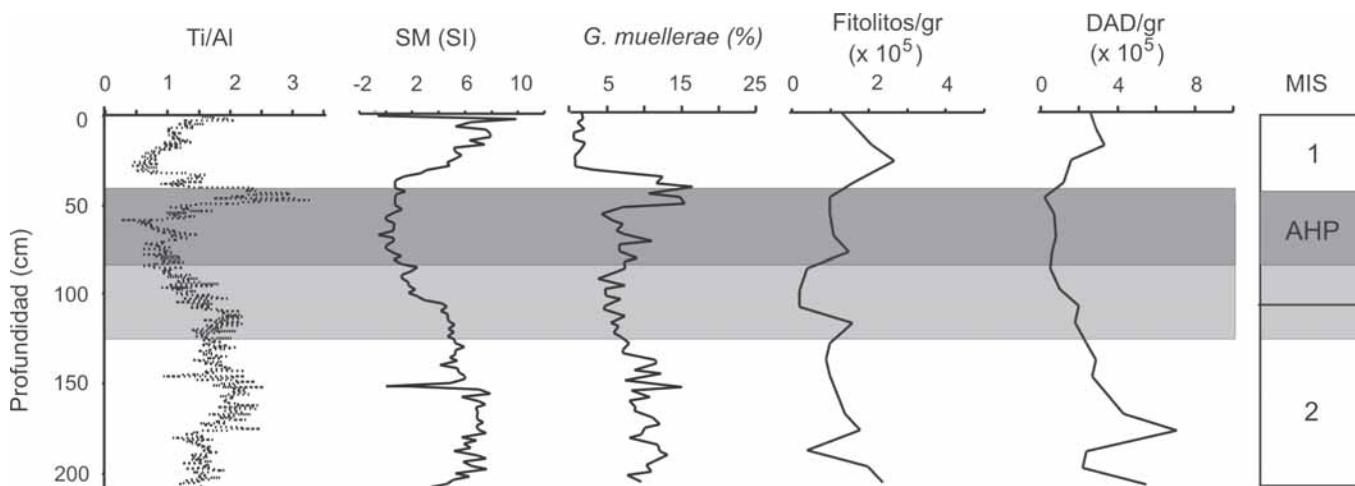


Fig. 3.- Abundancia relativa de *Gephyrocapsa muellerae* (%), relación Ti/Al y susceptibilidad magnética (SM), abundancia absoluta de fitolitos y diatomeas de agua dulce (DAD). Inicio de las condiciones húmedas para el MIS 1 (barra en gris claro) y AHP (barra en gris oscuro).

Fig. 3.- Relative abundance of *Gephyrocapsa muellerae* (%), Ti/Al ratio and magnetic susceptibility (SM), absolute abundance of phytoliths and fresh-water diatoms (DAD). Onset of wet conditions at MIS 1 (light grey bar) and AHP (dark grey bar).

condiciones de relativa alta productividad oceánica y abundancia de taxones de la asociación cálida. Tras su terminación, la productividad superficial se habría incrementado notoriamente hacia el Holoceno reciente, al tiempo que se produce un mayor aporte de terrígenos de origen eólico provenientes del continente.

Al final del Periodo Húmedo Africano, la mayor abundancia de las especies de la asociación cálida y la rápida disminución de *G. muellerae* indican un calentamiento de las masas de agua y cese de las condiciones húmedas, marcando una rápida transición a condiciones más cálidas para el resto del Holoceno. El registro de fitolitos y diatomeas de agua dulce confirman este cambio.

El porcentaje de terrígenos eólicos se habría incrementado abruptamente hacia los 5,5 ka permaneciendo relativamente alto el resto del Holoceno. Este incremento súbito corresponde con la terminación de las condiciones húmedas y con el rápido inicio de mayor aridez en el Norte de África.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado con material recuperado durante de la campaña MD134/PICABIA a bordo del B/O Marion Dufresne II. Esta iniciativa ha sido financiada por los proyectos REN 2003-08642-CO2/CLI, REN2003-09622-CO2 del MEC y SA088/04 de la Junta de Castilla y León.

### Referencias

- Bárcena, M.A., Cacho, I., Abrantes, F., Sierro, F.J., Grimalt, J.O. y Flores, J.-A. (2001). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 167, 337-357.
- Claussen, M. y Gayler, V. (1998). *Global Ecology and Biogeography Letters*, 6, 369-377.
- deMenocal, P. (2004). *Earth and Planetary Science Letters*, 220, 3-24.
- deMenocal, P., Ortiz, J., Guilderson, T., Adkins, J., Sarnthein, M., Baker, L. y Yarusinsky, M. (2000). *Quaternary*

*Science Review*, 19, 347-361.

- Flores, J.-A. y Sierro, F. J. (1997). *Micro-paleontology*, 43, 321-324.
- Flores, J.A., Bárcena, M. A. y Sierro, F. J. (2000). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 161, 459-478.
- Gasse, F. (2000). *Quaternary Science Review*, 19, 189-211.
- Hoelzmann, P., B. Keding, H. Berke, S. y Kropelin, H.J. (2000). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 169, 193-217.
- Martinson, D. G., Pisias, N., Hays, J. D., Imbrie, J., Moore, T. C. y Shackleton, N.J. (1987). *Quaternary Research*, 27, 1-29.
- McIntosh, S. K y McIntosh, R.J. (1983). *Annual Review of Anthropology*, 12, 215-258.
- Prospero, J. M. (1996). En: *The Impact of Desert Dust across the Mediterranean* (S. Guerzoni y R. Chester, Eds). Kluwer Academic Publisher, 133-151.
- Zhao, M., Eglinton, G., Haslett, S., Jordan, R., Sarnthein, M y Zhang, Z. (2000). *Organic Geochemistry*, 31, 919-930.