

# Interpretación paleoclimática de las varvas pliocenas de la Cuenca de Villarroya (Sierra de Cameros, La Rioja)

*Palaeoclimatic interpretation of pliocene varves of the Villarroya Basin (Cameros Range, La Rioja, Spain)*

A. Muñoz (\*) y B. Sánchez-Valverde(\*\*)

(\*) Dpto. de Ciencias de la Tierra. Univ. Zaragoza. E-50009 Zaragoza, Spain. E-mail: armunoz@posta.unizar.es

(\*\*) Dpto. de Métodos Estadísticos. Univ. Zaragoza. E-50009 Zaragoza, Spain. E-mail: belensv@posta.unizar.es

## Abstract

This is a study of an extremely good outcrop of 1745 varves in the Villarroya Pliocene Basin (Spain). We have used the periodogram approach for estimating power spectra and periodicities of about 12, 6-7 and 2-3 years have been obtained. The light layers of the varves record the run-off of gastropods, ostracods and charophytes from seasonal productivity cycle, and are generated during late summer and autumn. It seems clear that the climatic information provided by these cycles corresponds mainly to summer time, which would be translated into a variation of the light layer thickness due to a more or less intense development of the flora and fauna, being thicker in years of higher temperatures and thinner in years of lower temperatures. Considering the results, we would suggest that the sedimentation of these materials in the Pliocene was driven by solar activity or/and ENSO, NAO, and QBO phenomena. Nowadays these phenomena produce rainfall and temperature changes with the cyclicities shown in this study and we think they could have operated in the same way in Pliocene times.

**Key Words:** Pliocene, varves, Sunspot, El Niño/Southern Oscillation (ENSO), North-Atlantic Oscillation (NAO), Quasi-biennial Oscillation (QBO).

Geogaceta, 30 (2001), 91-94  
ISSN:0213683X

## Introducción

El análisis espectral de series de tiempo obtenidas a partir de sedimentos laminados es una herramienta imprescindible para su estudio e interpretación. De acuerdo con Anderson (1986) y Glenn y Kelts (1991) las varvas son indicadores de la estacionalidad mientras que una sucesión de varvas son indicadores del clima. Por tanto, el interés de este trabajo radica en la utilización de sedimentos lacustres laminados como paleoindicadores climáticos.

En el interior de la Cuenca de Villarroya aparece un intervalo de sedimentación lacustre con excelentes afloramientos de calizas laminadas. El objetivo de este trabajo es el estudio, mediante análisis espectral, de series de tiempo obtenidas a partir de los espesores de las láminas con el fin de poner de manifiesto y analizar las ciclicidades existentes en las variaciones de espesor y realizar, finalmente, una interpretación de los resultados paleoclimáticos en base a ciclos climáticos actuales.

## Marco geológico

La Cuenca pliocena de Villarroya es un semigraben de 6x2 km localizado en el extremo nororiental de la Sierra de Cameros,

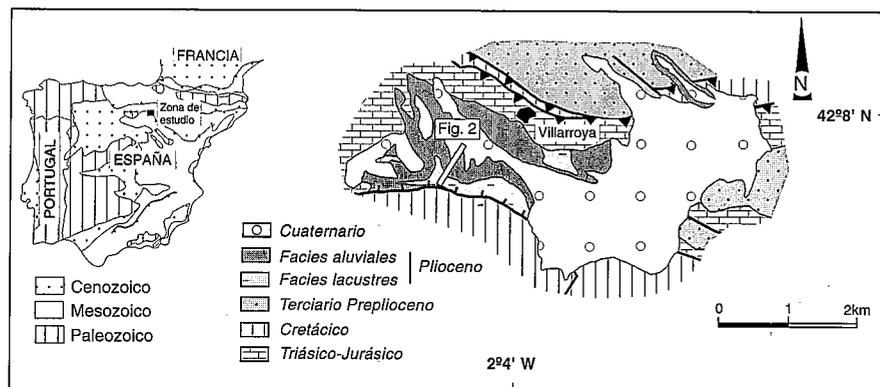


Fig. 1.-Mapa de situación y de distribución de facies en la Cuenca de Villarroya. Se indica la posición de la columna estratigráfica mostrada en la Fig. 2.

Fig. 1.- Location map and facies distribution of the Villarroya Basin, northern Spain. The location of the section shown in the Fig. 2 is indicated.

a una latitud de 42° 8' N y una longitud de 2° 4' W (Fig. 1). Los principales trabajos que abordan el estudio de los materiales que rellenan esta pequeña cuenca sedimentaria son los de Villalta (1952), centrado en el yacimiento paleontológico de Villarroya, Remy (1958) en el que se analizan las variaciones climáticas a través del contenido polínico de los materiales, Rodríguez-Lázaro *et al.* (1997) donde se analizan las variaciones paleoambientales en base a ostrácodos y moluscos, Brinkmann (1957), Muñoz

(1992) y Muñoz *et al.* (1992, 1994), en los que se abordan diferentes aspectos estratigráficos, sedimentológicos y paleogeográficos, Pueyo-Morer *et al.* (1996) centrado en el estudio magnetoestratigráfico y finalmente Muñoz y Sánchez-Valverde (1997) y Muñoz *et al.* (1999) en los que se aborda el estudio de las facies lacustres laminadas.

Los materiales que rellenan la cuenca corresponden a depósitos de abanicos aluviales y de lagos carbonatados (Fig. 2). En la parte superior del episodio lacustre se re-

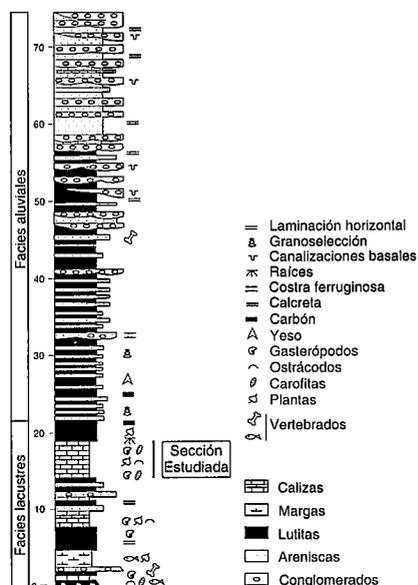


Fig. 2.- Perfil sedimentológico de la Cuenca de Villarroya donde se indica la posición de la sección estudiada.

Fig. 2.- *Sedimentological synthesis of the Villarroya Basin, showing sedimentary paleoenvironment and general lithological column. The location of the section studied is indicated.*

conocen calizas laminadas de tonos blanco-amarillentos y grises, constituidas por la alternancia de láminas de tonos oscuros y claros, correspondientes a parejas de láminas detrítico/biogénicas (Fig. 3a y b). Estas facies constituyen el objeto de nuestro estudio.

Las láminas de tonos más claros están formadas, principalmente, por fragmentos de tallos de carofitas, pequeños gasterópodos del género *hydrobia*, que se sitúan con su eje mayor paralelo a la estratificación y sin orientación preferente dentro de este plano, y valvas de ostrácodos. Su microfacies corresponde a biomicrocristal, *wackestone-packstone*. Rodríguez-Lázaro *et al.* (1997) señalan que hay diferentes fases mineralógicas, la fase dominante es aragonita en las láminas constituidas por carofitas/gasterópodos y calcita baja en magnesio (LMC) en las láminas de ostrácodos.

Las láminas de tonos más oscuros están constituidas, fundamentalmente, por barro carbonatado, minerales de la arcilla y cementaciones irregulares de ópalo, con esporádicas intercalaciones de valvas de ostrácodos y pequeños gasterópodos. Su microfacies corresponde a micrita y micrita con fósiles, *mudstone*. Tanto en las láminas claras como en las oscuras también aparecen abundantes diatomeas que pueden ser las responsables de las cementaciones de ópalo.

Las características que presentan estas calizas nos han permitido interpretarlas (Muñoz *et al.*, 1992) como generadas en un lago caracterizado por una alta productividad orgánica con el consiguiente predomi-

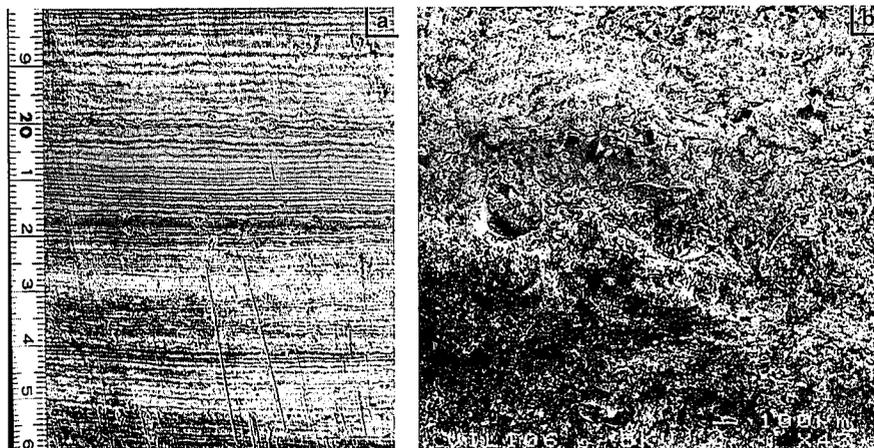


Fig. 3.- Sedimentos laminados de la Cuenca de Villarroya: (a) Aspecto de campo de las varvas. (b) Imagen de microscopio electrónico de barrido donde se observan las diferentes características texturales de las láminas claras y oscuras.

Fig. 3.- *Laminated sediments of Villarroya Basin. (a) Photograph showing saw-cut surface of varves. (b) SEM image of varve lamination features. Note alternating textures in lamina corresponding to light and dark layers.*

nio de sedimentos carbonatados, por la estratificación de sus aguas y por la presencia de pendientes pronunciadas en su margen meridional tal y como lo constatan los rápidos cambios laterales de facies y la presencia de *slumps* y brechas intercaladas en los sectores marginales de las facies lacustres.

Antes de realizar el análisis espectral es preciso conocer la duración temporal del ciclo formado por una lámina clara y otra oscura. Pensamos que la duración es anual en base a que el ciclo estacional es el dominante en la mayor parte de las series lacustres ya que es hasta un orden de magnitud mayor que cualquier otro mecanismo generador de ciclos (Mitchell, 1976). Además, Remy (1958) señala que las láminas oscuras tienen mucho menos polen que las láminas claras, lo que demuestra la existencia de una oscilación estacional. En consecuencia, consideramos que las parejas constituidas por una lámina clara y otra oscura corresponden a varvas.

### Análisis

Se analiza una serie muy bien expuesta y prácticamente continua de 3,1 m de espesor donde se reconocen 1745 parejas de láminas sedimentadas hace 2,8 Ma (Pueyo-Morer *et al.*, 1996) En la serie se reconocen pequeñas discontinuidades marcadas por láminas lutíticas de espesor centimétrico o por pequeños *slumps*, aunque se ha medido un conjunto continuo integrado por 728 parejas. Las medidas se han realizado de forma manual sobre fotografías ampliadas del afloramiento, obteniéndose tres series de tiempo formadas por 1745 valores correspondientes al espesor de las láminas claras, de las oscuras y de la suma de ambas.

La detección de comportamientos cíclicos en series de tiempo se lleva a cabo mediante análisis espectral, que consiste en dividir la varianza de la serie de acuerdo a cada frecuencia. Un pico significativo en el espectro indica un ciclo de esa determinada frecuencia. La técnica empleada para determinar el espectro de cada serie ha sido calcular el periodograma y suavizarlo con un filtro. Para conocer la significación de cada serie con un modelo ARMA, del cual se ha obtenido la correspondiente representación espectral (Brockwell y Davis, 1991a). La relación existente entre el espectro de los datos y el de su modelo es proporcional a una variable chi-cuadrado con grados de libertad que dependen del filtro utilizado para suavizar el periodograma (Brockwell y Davis, 1991a). Esta relación permite obtener un intervalo al 90 o al 95% por encima del cual, se considera que un pico es significativo. Los periodogramas, espectros, modelos ARMA y representación espectral de estos modelos, se han obtenido con el paquete ITSM de Brockwell y Davis (1991b).

En primer lugar se ha analizado el conjunto de 728 varvas continuas para estudiar la posible existencia de ciclos en las variaciones del espesor de las láminas claras, oscuras y suma de ambas (Fig. 4). En la figura se observa que el espectro de potencia de las láminas claras es similar al de la suma de láminas claras y oscuras y en ambos casos muestran un comportamiento periódico con máximos en los espectros. Las láminas oscuras se comportan como un ruido sin información acerca de la posible explicación de la varianza.

En segundo lugar, se han analizado los primeros 1700 datos discontinuos utilizando solamente la serie de tiempo elaborada

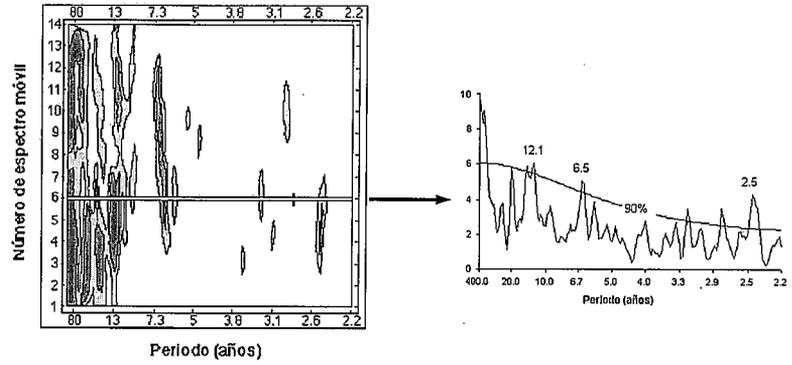
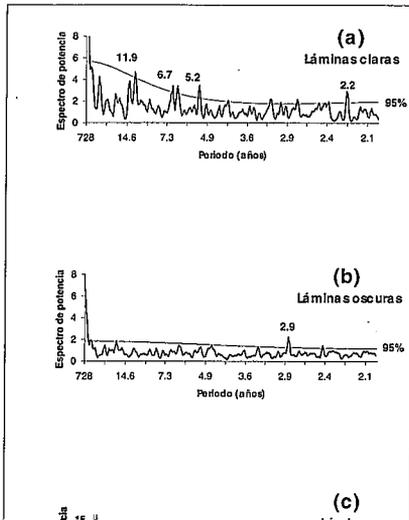


Fig. 5.- Mapa de Grises. La persistencia de un ciclo con una frecuencia determinada a lo largo de la serie puede observarse como una línea vertical gris. El mapa ha sido construido con los 14 espectros móviles realizados sobre el conjunto de 1700 datos correspondientes al espesor de las varvas. Se muestra de forma separada el espectro móvil n° 6 (datos 500-900).

Fig. 5.- Grev Map. The persistence (vertical grey line) of some frequencies through the moving subssets can

y flora y una mayor precipitación de calcita por la disminución de CO<sub>2</sub> en el agua, dando como resultado una lámina clara más potente, mientras que en los años de temperaturas más bajas, la ganancia de calor sería menor, dando como resultado un ciclo de productividad estacional de menor desarrollo y una lámina clara de menor espesor.

El estudio de las varvas de la Cuenca de Villarroya ha puesto de manifiesto la existencia de ciclos con periodicidades de 12, 6-7 y 2-3 años. Considerando los resultados podríamos sugerir que la sedimentación de estos materiales durante el Plioceno pudo haber estado condicionada por la actividad solar y/o por fenómenos como ENSO NAO y QBO. Tenemos el problema adicional de conocer la forma en que estos fenómenos naturales pudieron conducir el clima durante el Plioceno, pero actualmente, estos fenómenos producen cambios en las temperaturas y precipitaciones con las periodicidades encontradas en las varvas de Villarroya y pensamos que pudieron operar de igual manera durante el Plioceno.

**Agradecimientos**

Trabajo financiado por el Proyecto PB97-0882-C03-02 de la D.G.E.S.

**Referencias**

Anderson, R.Y. (1986): *Paleoceanography*, 1: 369-372.  
 Benner, T.C. (1999): *International Journal of Climatology*, 19: 391-403.  
 Brinkmann, R. (1957): *Estudios Geológicos*, 13: 123-134.  
 Brockwell, P.J. y Davis, R.D. (1991a): *Time Series: Theory and Methods*. Springer-Verlag, New York, 577 pp.  
 Brockwell, P.J. y Davis, R.D. (1991b): *ITSM: An Interactive Time Series Modelling Package for the PC*. Springer-Verlag, New York, 118 pp.  
 Creus, J., Fernández, A. y Manrique, E. (1996): *Lucas Mallada*, 8: 9-27.  
 Damnati, B. y Taieb, M. (1995): *Journal of African Earth Sciences*, 21 (3): 373-382.  
 Glenn, C.R. y Kelts, K. (1991): En: G. Einsele, W. Ricken y A. Seilacher (eds), *Cycles and events in Stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 188-221.  
 Goslar, T., Pazdur, A., Pazdur, M.F. y Walanus, A. (1989): *Radiocarbon*, 31 (3): 940-947.  
 Hurrell, J.W. (1995): *Science*, 269: 676-679.  
 Hurrell, J.W. (1996): *Geophysical Research Letters*, 23: 665-668.  
 Hurrell, J.W. y Van Loon, H. (1997): *Climatic Change*, 36: 301-326.  
 Jones, P.D., Jonsson, T. y Wheeler, D. (1997): *International Journal of Climatology*, 17: 1.433-1.450.  
 Mitchell, J.M. (1976): *Quaternary Research*,

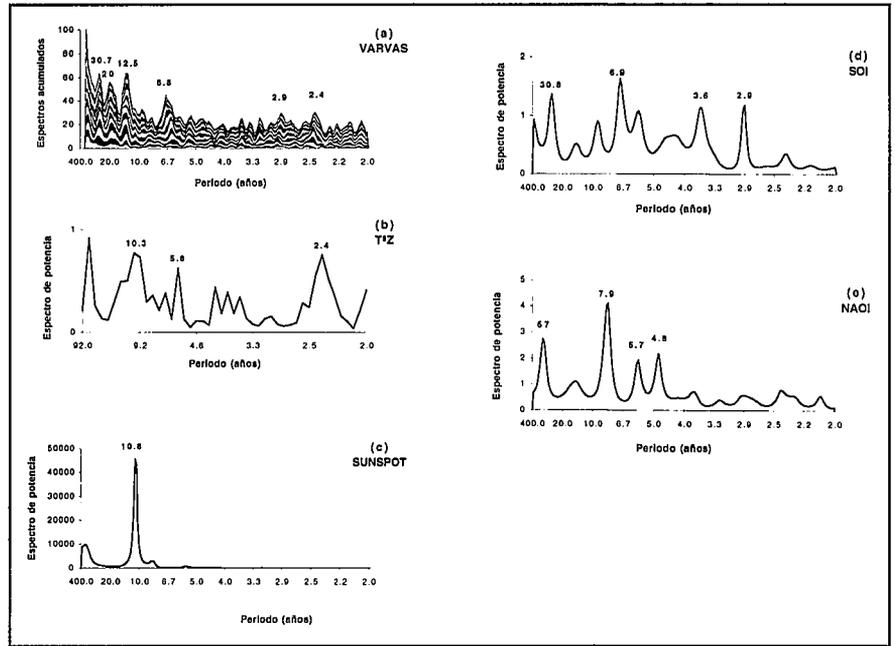


Fig. 6.- (a) Suma de los 14 espectros móviles. (b) Temperatura media mensual desde 1905 hasta 1996, registrada en el observatorio meteorológico de Zaragoza. (Datos suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología). (c) Espectro de potencia de sunspot. Media anual de 1700 a 1998. Datos de el Sunspot Index Data Centre, Royal Observatory of Belgium. Página web: <http://www.oma.be>. (d) Espectro de potencia de SOI. Southern Oscillation Index (Diciembre de 1866 a Marzo de 1997. Datos de la diferencia de presión normalizada entre Tahití y Darwin procedentes de la Climatic Research Unit. Página web: <http://www.cru.uea.ac.uk>). (e) Espectro de potencia de NAOI. North Atlantic Oscillation Index (Diciembre de 1824 a Marzo de 1998. Datos de la diferencia de presión normalizada a nivel del mar entre Gibraltar y el Suroeste de Islandia procedentes de Jones et al., 1997 y de la Climatic Research Unit. Página web: <http://www.cru.uea.ac.uk>). Los datos de temperatura de Zaragoza, SOI y NAOI son las medias mensuales de Diciembre a Marzo con la finalidad de resaltar los fenómenos ENSO/NAO cuya influencia sobre el clima se manifiesta fundamentalmente durante el invierno.

Fig. 6.- (a) Stacked power spectrum of the 14 moving spectra of varvas. (b) Mean monthly temperature from 1905 until 1996, recorded in the meteorological station at Zaragoza. (Data supplied by the National Institution of Meteorology). (c) Power spectrum of sunspot. Yearly mean sunspot numbers (1700-1998). Data from the Sunspot Index Data Centre, Royal Observatory of Belgium home page, <http://www.oma.be>. (d) Power spectrum of SOI. Southern Oscillation Index (December 1866-March 1997. Data of the normalised pressure difference between Tahiti and Darwin from the Climatic Research Unit home page, <http://www.cru.uea.ac.uk>). (e) Power spectrum of NAOI. North Atlantic Oscillation Index (December 1824-March 1998. Data of normalised sea level pressure difference between Gibraltar and Southwest Iceland from Jones et al., 1997 and the Climatic Research Unit home page, <http://www.cru.uea.ac.uk>). Data of Zaragoza temperature, SOI and NAOI are from the December to March average with the objective of highlighting the ENSO/NAO phenomena, which occur in winter, as much as possible.

6: 481-493.  
 Muñoz, A. (1992): *Análisis Tectosedimentario del Terciario del sector Occidental de la Cuenca del Ebro (Comunidad de La Rioja)*. Ciencias de la Tierra, 15. Instituto de Estudios Riojanos. Logroño, 347 pp.  
 Muñoz, A., Ojeda, J. y Sánchez-Valverde, B. (1999): En: *2<sup>nd</sup> International Congress of Limnogeology*. Poster 39.  
 Muñoz, A., Pérez, A., Pardo, G. y Villena, J. (1992): En: *III Congreso Geológico de España y VIII Latinoamericano de Geología*. Simposios 1, Salamanca: 108-117.  
 Muñoz, A., Pérez, A. y Villena, J. (1994): En: K. Kelts y E. Gierlowski-Kordesch (eds), *Global Geological Record of Lake Basin*. Cambridge University Press, Cambridge: 307-310.  
 Muñoz, A. y Sánchez-Valverde, B. (1997): En:

J.P. Calvo y J. Morales (eds). *Avances en el conocimiento del Terciario ibérico*: 133-136.  
 Pueyo-Morer, E., Muñoz-Jiménez, A. y Parés, J.M. (1996): *Geogaceta*, 20: 1.029-1.032.  
 Remy, H. (1958): *Eiszeitalter und Gegenwart*, 9: 83-103.  
 Rodbell, D.T., Seltzer, G.O., Anderson, D.M., Abbott, M.B., Enfield, D.B. y Newman, J.H. (1999): *Science*, 283: 516-520.  
 Rodó, X., Baert, E. y Comin, F.A. (1997): *Climate Dynamics*, 13: 275-284.  
 Rodríguez-Lázaro, J., Robles, F., Martín, M., Anadón, P., Utrilla, R. y Vázquez, A. (1997): *Geogaceta*, 22: 185-188.  
 Villalta, J.F. (1952): *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 64: 1-204.  
 Zorita, E., Kharin, V. y Von-Storch, H. (1992): *Journal of Climate*, 5(10): 1.097-1.108.