

# Períodos de recurrencia de paleoterremotos en sedimentos varvados lacustres del Mioceno superior. Cuenca de Híjar (Albacete)

*Earthquake recurrence intervals from lacustrine varved dediments of upper miocene age. Hijar basin (Albacete)*

M.A. Rodríguez-Pascua (\*), G. De Vicente (\*) M.S. Ramírez Rayo (\*\*), S. Martín Velazquez (\*) y Calvo (\*\*\*)

(\*)Dpto. Geodinámica, F. CC. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.  
 (\*\*) Consejo de Seguridad Nuclear. Justo Dorado nº. 11, 28040 MADRID  
 (\*\*\*) Dpto. Petrología y Geoquímica, F. CC. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

## ABSTRACT

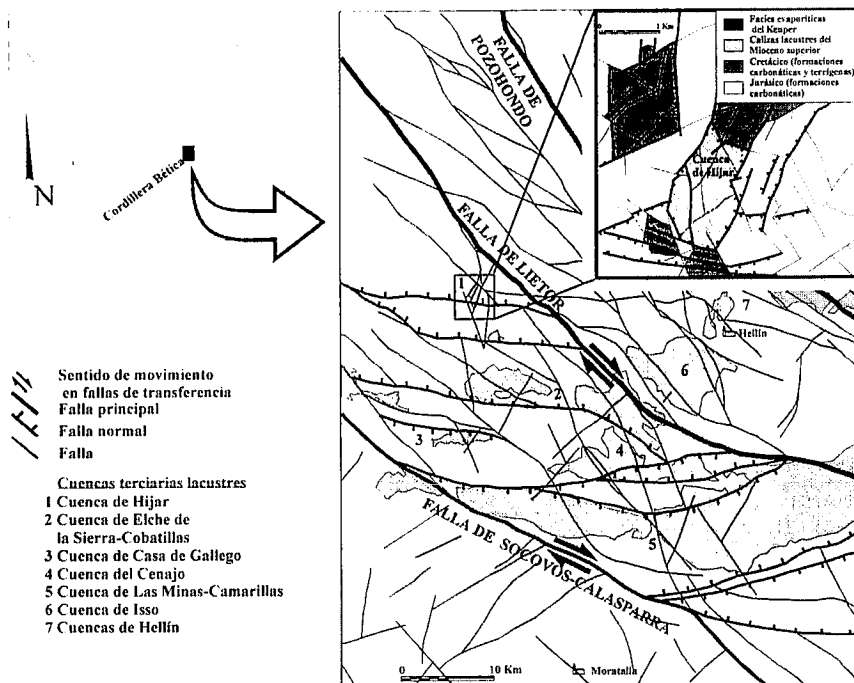
*Paleoseismic imprint in lacustrine varved sediments (Upper Miocene) has been made in the Hijar Basin (External Prebetic, Albacete). Mixed layers related to seismic activity have been observed in the varved sediments. These deformational structures are associated with earthquake's magnitude  $3.5-5$ . Each varve may be considered as annual laminae and used to date the time among deformation structures. The average recurrence interval for these study section is 119 years ( $\pm 33$  years of standard deviation) for 1189 recorded years.*

**Key words:** paleoseismicity, seismites, mixed layers, lacustrine varved sediments, Hijar basin.

Geogaceta, 20 (4) (1996), 1004-1007  
 ISSN: 0213683X

## Introducción

Uno de los objetivos principales de la paleosismicidad es determinar períodos de recurrencia de terremotos antes de las primeras crónicas históricas, por medio de la identificación de estructuras de deformación en sedimentos (sismitas), producidas por el efecto de terremotos (Seilacher, 1969). Los trabajos previos llevados a cabo en sedimentos lacustres varvados, para el cálculo de períodos de recurrencia de terremotos, son escasos, pudiendo destacar a Sims (1975). Este autor data de forma relativa las sismitas identificadas considerando el carácter anual de las varvas lacustres. Doig (1991) establece períodos de recurrencia de terremotos en sedimentos lacustres, pero utilizando dataciones radiométricas ( $C^{14}$ ), sin utilizar sedimentos varvados. Las cuencas neógenas lacustres del Prebético Externo en el área de Hellín presentan características sedimentarias adecuadas para realizar estudios de paleosismicidad. Concretamente, este estudio se ha llevado a cabo en la cuenca de Híjar (Albacete) (Fig.1). Elízaga (1990) realiza un estudio petrológico en estas cuencas y menciona la presencia de sismitas en las mismas. En estas cuencas se pueden observar diferentes tipos de estructuras de



**Fig. 1.** Situación geográfica y geológica de la cuenca de Híjar (Prebético Externo, Albacete). Las fallas de transferencia se relacionan con el emplazamiento del sistema de cabalgamientos imbricados del Arco de Alcaraz.

**Fig. 1.** Geographic and geological location of Híjar Basin (External Prebetic, Albacete). Transfer faults are associated to the Alcaraz Arc imbricated thrust sistem emplacemet.

SE) y Bética (NE-SO). La Falla de Socovos-Calasparra (Fig. 1) separa los dominios del Prebético Interno (al Sur) del Prebético Externo (al Norte, donde se sitúan estas cuencas), con diferentes características de las facies mesozoicas y preneógenas. La zona de estudio se sitúa sobre el arco estructural Alcaraz-Hellín (Alvaro *et al.*, 1975), en las que las directrices béticas al Oeste (SO-NE) se curvan adaptándose a las ibéricas (NO-SE).

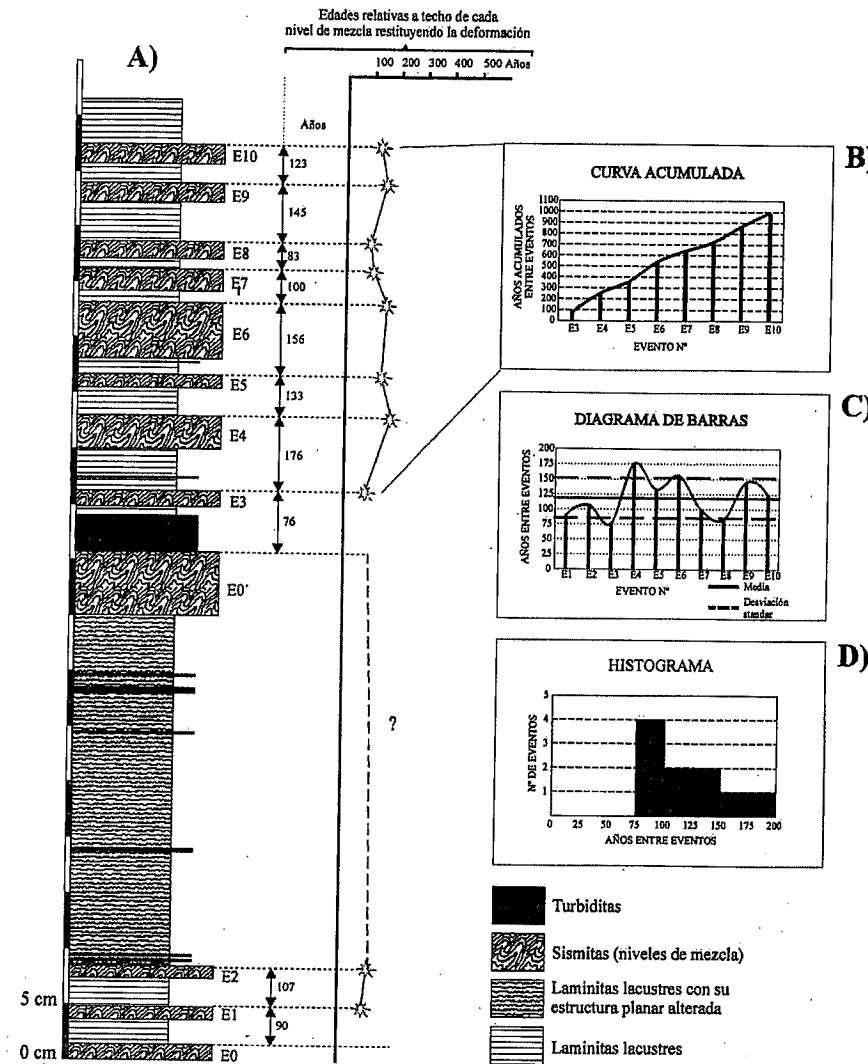
**Cuenca de Híjar**

La Cuenca de Híjar se localiza entre dos fallas de transferencia, la falla de Socovos-Calasparra al Sur y la falla de Lictor al Norte, relacionadas con el emplazamiento del sistema de cabalgamientos imbricados del Arco de Alcaraz (Fig. 1). La forma de esta cuenca se asemeja a un rectángulo, con su eje mayor orientado según los N10E, de unos 3,5 Km<sup>2</sup> de superficie y con un relleno sedimentario que supera los 450 m de potencia. La cuenca está limitada en sus cuatro flancos por fallas normales, dos de dirección N10E y dos N110E. Los sedimentos lacustres que la rellenan se han datado por micromamíferos. Los niveles inferiores son de edad Vallesiense superior y en sedimentos superiores Turoliese superior (Calvo *et al.*, 1978). La sucesión estratigráfica está completa, representando prácticamente toda su historia geológica.

Los niveles de mezcla estudiados aparecen a los 75 m desde el inicio de la sedimentación lacustre. En un nivel de varvas lacustres de 87 cm de espesor (Fig. 2). Con microscopio electrónico de barrido se puede observar la diferencia composicional entre laminitas oscuras y laminitas claras. Las laminitas oscuras, ricas en materia orgánica, están constituidas por el apilamiento de esqueletos silíceos de diatomeas de unas 10m. Estos esqueletos discoidales están dispuestos paralelos a la estratificación. Las laminitas claras también son ricas en diatomeas (de menor tamaño que las anteriores), pero incluyen en su composición cristales de aragonito y calcita. Su ordenación es algo más caótica y aparecen algunas diatomeas fragmentadas y/o corroidas. Cada pareja de láminas tiene una potencia aproximada de 0,3 mm.

**Descripción de los niveles de mezcla**

Los niveles de mezcla se generan exclusivamente en medios finamente laminados bajo una lámina de agua. Se definieron por primera vez en Marco *et al.*, (1994) en los sedimentos varvados del



*Fig. 2. Seismites (mixed layers) of the Mijar Basin. A) Detail lithostratigraphical log and relative time intervals between events, B) cumulative curve varve-count years between events from the upper part of the section, C) bar diagram for intervals between successive events, D) frequency histogram for all events.*

deformación a todos los niveles, pero el estudio se ha centrado en las que aparecen en conjuntos métricos de varvas. Estas estructuras de origen sísmico, concretamente niveles de mezcla (Marco *et al.*, 1994), se pueden datar de forma relativa, si consideramos la anualidad de la sedimentación varvada (cada pareja, laminita blanca-oscura, corresponde a un año de sedimentación). Por tanto, los ambientes lacustres (especialmente en aquellos en los que se ha desarrollado estratificación del cuerpo de agua) son un medio sedimentario idóneo para llevar a cabo investigaciones de paleosismicidad, y ofrecen

una alternativa importante a los estudios realizados en medios fluviales, que por otra parte, han tenido un desarrollo mayor hasta el momento.

**Situación geográfica y geológica**

El área de estudio se sitúa en el sector suroriental de la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, en la zona Sur de la provincia de Albacete. Desde el punto de vista geológico, la cuenca de Híjar forma parte de un conjunto de cuencas neógenas lacustres localizadas en la zona de confluencia entre las cadenas Ibérica (NO-

Lago Lisan (Pleistoceno) en el graben del Mar Muerto. Aparecen asociados a fallas normales sinsedimentarias de hasta 2 m de salto vertical. Marco y Agnon (1995) sugieren que los niveles de mezcla se producen por un movimiento sísmico, de magnitud 5.5 o superior, a techo de la serie sedimentaria depositada hasta el momento. La columna de agua bajo la cual se han generado estas estructuras puede medir entre 15 y 20 m, deducido a partir de las relaciones geométricas entre cuerpos sedimentarios observados en los bordes de la cuenca. Para terremotos de igual magnitud, cuanto mayor sea el espesor de la lámina de agua menor será la potencia del nivel deformado, ya que la presión hidrostática será mayor y también la resistencia a la deformación. Para este caso, la lámina de agua parece bastante constante durante la sedimentación del conjunto varvado. La gradación de la deformación observada en los niveles de mezcla, muestra el aumento de la consolidación con la profundidad. La parte superior del sedimento, sin consolidar, se fluidifica y se resedimenta después del movimiento sísmico. Laminitas inmediatamente inferiores, más consolidadas, aparecen brechificadas y fracturadas, conservando restos de la estructura planar de las varvas. Los niveles inferiores, de comportamiento plástico, se pliegan por el efecto de esfuerzos locales de cizalla entre los estratos superiores e inferiores (Fig. 3 y 4). La morfología de estos niveles

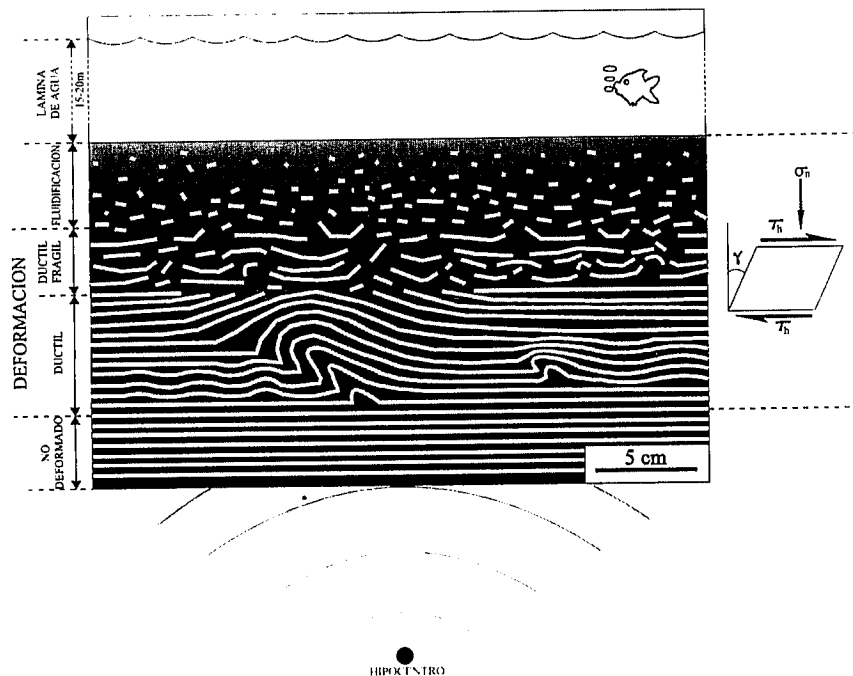


Fig. 4.- Representación esquemática de un nivel de mezcla en el momento de su formación, a causa de los esfuerzos de cizalla cíclicos en la superficie del sedimento generados por un terremoto,  $\sigma_n$  = esfuerzo normal,  $T_n$  = esfuerzo de cizalla cíclico y  $\gamma$  = ángulo de cizalla

Fig. 4.- Sketch of the formation of a mixed layer caused by cyclic shear stresses related to earthquake at the surface of laminitic sediments,  $\sigma_n$  = normal stress (hydrostatic pressure),  $T_n$  = cyclic shear stresses and  $\gamma$  = angle of shear deformation.

plegados es muy similar a la de los «slumps», diferenciándose exclusivamente en la aparición del nivel de mezcla superior.

#### Determinación de períodos de recurrencia de paleoterremotos

En el nivel de varvas lacustres estudiado (de 87 cm) en la Cuenca de Híjar, se han identificado un total de 12 niveles de mezcla. Considerando la anualidad de la sedimentación, podemos conocer el tiempo transcurrido entre eventos (la tasa de sedimentación medida es de 3 mm cada 10 años). A este tiempo, medido directamente entre estructuras, habrá que sumar la edad que representan las laminitas deformadas en cada nivel. Por tanto, habrá que restituir la deformación del nivel de mezcla para poder conocer su potencia real y la edad equivalente de ésta. De este modo, obtendremos el tiempo transcurrido entre eventos.

Entre el evento 2 (E2) y E0' (Fig. 2) aparece un conjunto de laminitas con su estructura laminar alterada, es decir, se observa una fuerte disgregación interna de las laminitas y variaciones de potencia, así como zonas de cizalla dúctiles (de carácter normal con saltos milimétricos). A pesar de esta disgregación, se puede observar una cierta continuidad lateral de los conjuntos laminados, ya que esta deformación se produjo *in situ* sin que se aprecie transporte alguno. Se han descartado

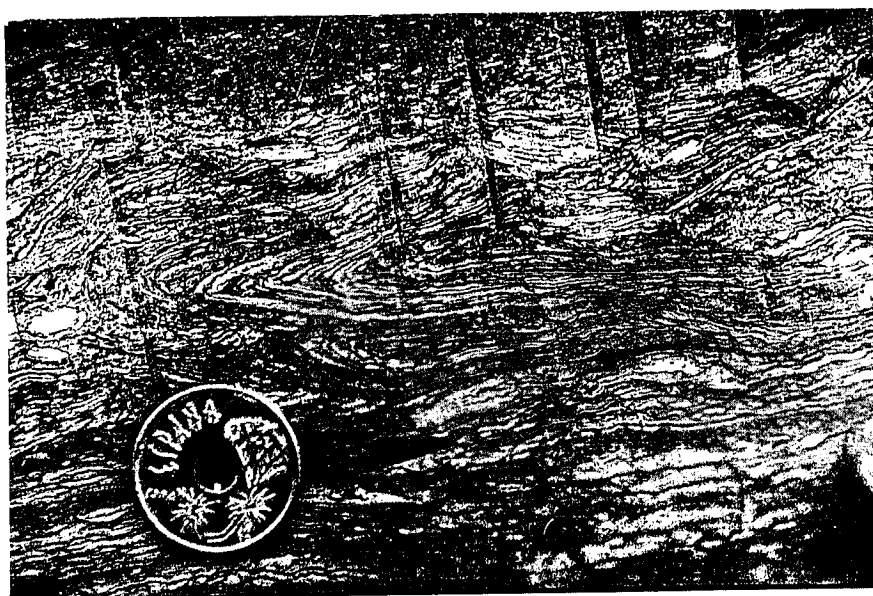


Fig. 3. Fotografía de afloramiento de un nivel de mezcla típico.

Fig. 3. Outcrop's picture of a typical mixed layer.

procesos de bioturbación y efectos diagenéticos. La bioturbación habría destruido la estructura del sedimento y no se han definido procesos diagenéticos que generen estas estructuras. Se observa una deformación dúctil asociada a la disgregación en estos niveles. Las laminitas parecen haber estado sometidas a una agitación más o menos continua, que ha alterado su estructura normal. Es probable que esta agitación la haya producido una actividad sísmica moderada, lo suficientemente importante como para alterar los planos de las varvas, pero no para producir la licuefacción del sedimento. Por tanto, en este nivel no se ha podido calcular la tasa de sedimentación y se desconoce la edad equivalente del mismo. Las pasadas turbidíticas que aparecen a lo largo de la columna estratigráfica se han considerado sedimentos con tasas elevadas de sedimentación, por lo que se han omitido al calcular la tasa de sedimentación entre eventos.

La media para los 10 intervalos medidos entre los 12 niveles de mezcla es de 119 años, con una desviación estándar de  $\pm 33$  años. El mínimo corresponde al evento 3 (E3) con 76 años y el máximo al E4 con 176 años (Fig. 2A). Siete de estos eventos se localizan dentro de los márgenes de la desviación estándar (Fig. 2C). Representando el conjunto de los datos en un histograma de frecuencias (Fig. 2D) obtenemos una semicampana de Gauss, con una moda del 40% entre los 75 y 100 años y valores mínimos entre

los 150 y 200 años. Si representamos la función acumulada entre eventos (Fig. 2B), para el último tramo continuo de la columna de detalle, obtenemos una distribución con una pendiente prácticamente constante, lo que indica que la población se ajusta a la media. Las zonas en las que la pendiente de la curva aumenta indican períodos de recurrencia largos, mientras que cuando disminuye, indica el aumento de la actividad sísmica con respecto a la media.

Esta solución es similar a los resultados obtenidos en otras áreas, en las que se ha podido estudiar períodos de miles de años de actividad sísmica. En el estudio realizado por Ben-Menahem (1991) en la zona del Mar Muerto, en el que ha combinando paleosismicidad, arqueología, citas bíblicas, sismicidad histórica e instrumental, obtiene períodos de recurrencia de 83 años (para terremotos de magnitud 6 con una desviación estándar de 32 años para 4000 años de registro).

### Conclusiones

Por medio del estudio de niveles de mezcla en sedimentos lacustres, del Prebético Externo en la cuenca de Híjar (Albacete), se han obtenido períodos de recurrencia de terremotos, para el Mioceno superior (Turolense), de 119 años para un total de 1189 años de registro ( $\pm 33$  años de desviación estándar). A estas estructuras de deformación se les asocia con terremotos de magnitud 5.5 o supe-

riores (Marco y Agnon, 1995). Los estudios de paleosismicidad desarrollados en sedimentos lacustres ofrecen una buena alternativa a los realizados en medios fluviales, sobre todo en lo referente a períodos de recurrencia, ya que permiten la datación relativa entre diferentes eventos.

### Agradecimientos

Este trabajo se ha financiado con una beca del Consejo de Seguridad Nuclear y el proyecto AMB 94-0994 de la CICYT.

### Referencias

- Alvaro, M.G., Argueso, J.M. y Elízaga, E. (1975). *Bol. Geol. y Min.*, 86, 5, 467-477.
- Ben-Menahem (1991). *J. Geophys. Res.*, 96, B12, 20,195-20,216.
- Calvo, J.P., Elízaga, E., López, N., Robles, F. y Usera, J. (1978). *Bol. Geol. y Min.*, 5, 9-32.
- Elízaga, E. (1990). *Tesis Doctoral. Inédita. Univ. Complutense de Madrid. 268 pags.*
- Doig, R. (1991). *Can. J. Earth Sci.*, 28, 1349-1352.
- Marco, S., Agnon, A., Stein, M. y Ron, H. (1994). *U.S. Geol. Sur. Open-File Rep.*, 94-568, 112-114.
- Marco, S. y Agnon, A. (1995). *Geology*, 23, 8, 695-698.
- Seilacher, A. (1969). *Sedimentology*, 13, 155-159.
- Sims, J.D., (1975). *Tectonophysics*, 29, 141-152.