

Primeras evidencias de paleoterremotos en la falla de Carboneras: estudio paleosismológico en el segmento de La Serrata

First evidence of paleoearthquakes in Carboneras Fault: A Paleoseismological study in La Serrata

X. Moreno ⁽¹⁾⁽²⁾, E. Masana ⁽¹⁾, E. Gràcia ⁽²⁾, R. Pallàs ⁽¹⁾, P. Ruano ⁽¹⁾, M. Coll ⁽¹⁾, P. Štěpáncíková ⁽³⁾ y P. Santanach ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departament de Geodinàmica i Geofísica, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Barcelona. Email: ximenamoreno@ub.edu

⁽²⁾ Unitat de Tecnologia Marina, Centre Mediterrani d'Investigacions Marines i Ambientals, CSIC, Barcelona.

⁽³⁾ Institute of Rock Structures and Mechanics, Academy of Sciences of Czech Republic, Prague, Czech Republic

ABSTRACT

A paleoseismological analysis was performed along the La Serrata segment of the Carboneras fault (Eastern Betics) in order to establish its seismic potential. The site was selected after a general geomorphological analysis of the whole fault and after a near-fault study of the surface geology. Trenches across the fault exposed colluvial wedges, which evidenced sudden deformation events (paleoearthquakes). The Carboneras is, thus, a seismogenic fault. Evidence of a minimum of four events in the last 50 ka was detected suggesting a mean recurrence period of 14 ka. The geometry of the units and S-C structures observed in trenches indicate a left-lateral with some reverse component movement along the fault in its most recent activity.

Key words: Carboneras Fault, Eastern Betics, paleoseismology, trenching, neotectonics,

Geogaceta, 41 (2007), 135-138

ISSN: 0213683X

Introducción

La valoración de la peligrosidad sísmica en la Península Ibérica se basa típicamente en los datos del registro histórico e instrumental, lo que supone un rango temporal, de unos mil años, en el que no quedan contempladas estructuras con periodos de recurrencia mayores. Existen diversos ejemplos en la Península de fallas lentas (con periodos de recurrencia de decenas de miles de años) pero sísmogénicas, como es el caso de las fallas del Camp (Tarragona) (Masana *et al.*, 2001), o de Alhama de Murcia (Murcia) (Masana *et al.*, 2004, 2005).

La finalidad del trabajo iniciado en la falla de Carboneras es evaluar y caracterizar su actividad tectónica durante el Cuaternario y evaluar su potencial sísmogénico. Los datos aportados permitirán también establecer sus parámetros sísmicos (geometría y dimensión de la falla, tasa de desplazamiento, período de recurrencia, tiempo transcurrido desde el último terremoto y magnitud máxima).

Las Béticas Orientales: Marco sismotectónico

El margen Sur de la Península Ibérica está marcado por la moderada activi-

dad sísmica producto de la convergencia entre las placas Europea y Africana (Stich *et al.*, 2006). La zona de contacto se resuelve mediante una amplia banda de deformación de unos 400-500 km de ancho con dirección E-W (Bufo *et al.*, 1995, Masana *et al.*, 2004) manifestada en la Cordillera Bética por el alto grado de tectonización y la dispersa sísmicidad. En las Béticas orientales, el acortamiento durante el Neógeno y el Cuaternario ha sido principalmente asimilado por el sistema de fallas de salto en dirección sinistras, de la Zona de Cizalla de las Béticas Orientales (Larouzière *et al.*, 1988) (Figura 1a). Con casi 50 km de longitud en tierra y más de 100 km en mar, la falla de Carboneras es una de las estructuras más largas de este sistema (Gràcia *et al.*, 2006). A pesar de la ausencia de sísmicidad significativa (podría ser la fuente del terremoto de Almería de 1522 pero la localización del epicentro es muy imprecisa) a lo largo de la falla, se observan en superficie evidencias geomorfológicas que revelan una actividad tectónica reciente, lo que sugiere que pueda tratarse de una falla activa con periodos de recurrencia largos.

Método

Mediante un análisis geomorfológico de la parte emergida de la falla, basado en fotointerpretación y reconocimiento de campo, se ha identificado el segmento con mayor número de evidencias de actividad tectónica reciente. En dicho segmento, y a partir de un análisis geomorfológico y microtopográfico (mapas y perfiles topográficos levantados a propósito con estación total), se han seleccionado las zonas más favorables para la preservación del registro sedimentario de paleoterremotos. La ubicación exacta de las excavaciones se ha basado en el estudio geomorfológico de detalle, apoyado por perfiles geofísicos (georadar y tomografía eléctrica de alta resolución). Se han abierto un total de 6 trincheras mediante retroexcavadora y, tras instalar una malla de 1x1m y construir un mosaico fotográfico de las paredes de las trincheras, se han dibujado las mismas a escala 1:20 con tal de interpretar la evolución más reciente de la falla. Finalmente, se han datado los materiales involucrados en la deformación mediante radiocarbono (carbón y gasterópodos), U/Th (caliches laminares) y Termoluminiscencia (arenas y gravas con evidencias de haber sido transportadas bajo exposición solar).

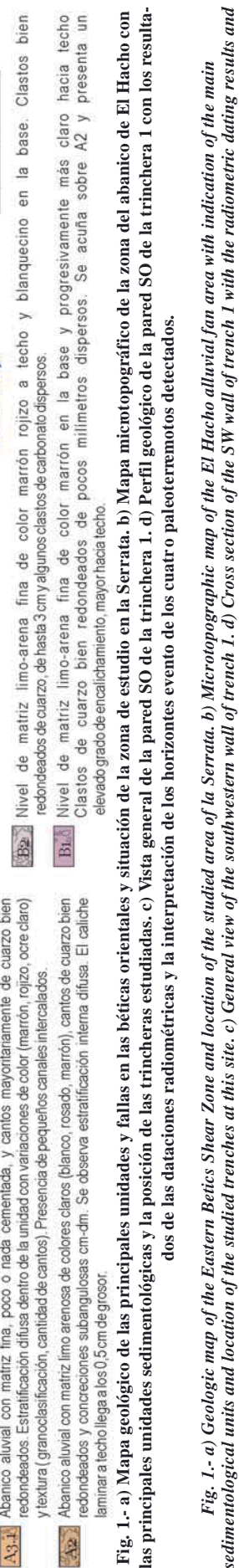
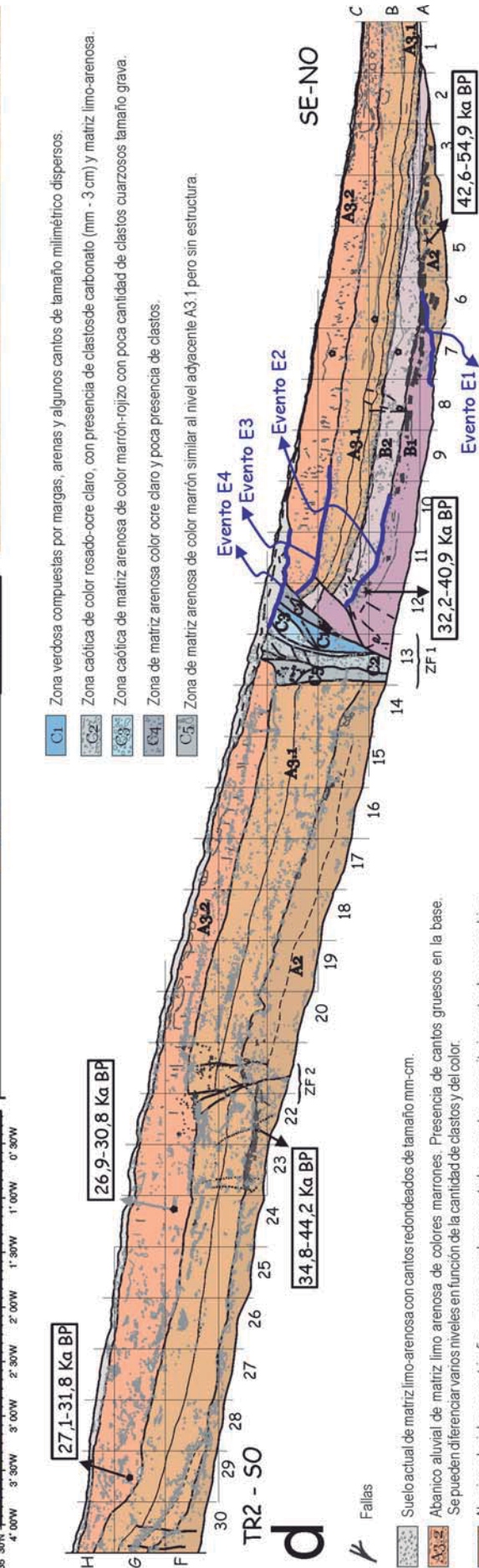
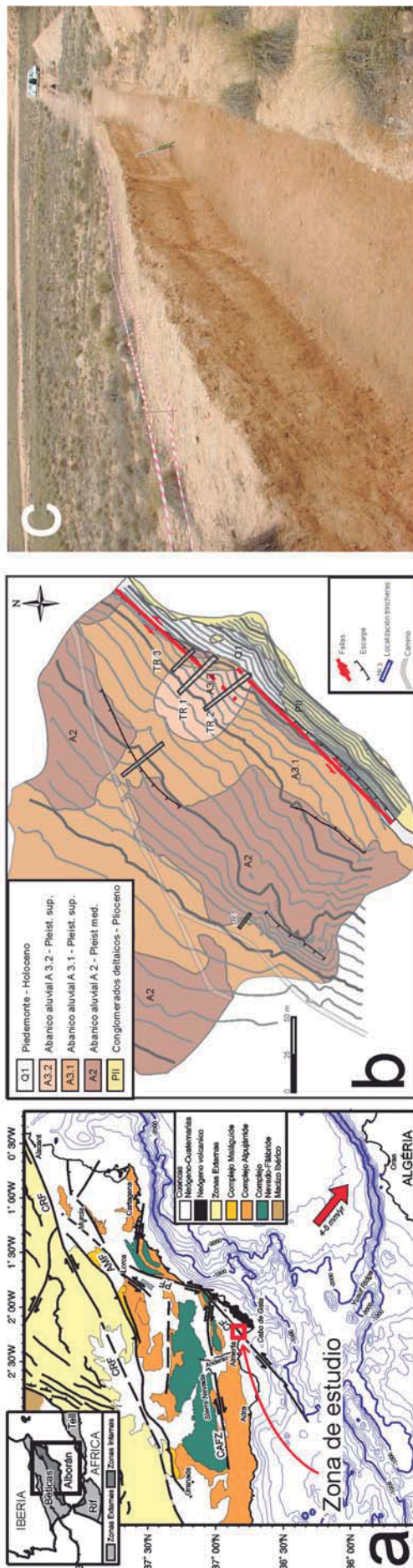


Fig. 1.- a) Geologic map of the Eastern Betics Shear Zone and location of the studied area of the Serrata. b) Microtopographic map of the El Hacho alluvial fan area with indication of the main sedimentological units and location of the studied trenches at this site. c) General view of the southwestern wall of trench 1. d) Cross section of the SW wall of trench 1 with the radiometric dating results and the position of the four detected horizon events.

Fig. 1.- a) Mapa geológico de las principales unidades y fallas en las béticas orientales y situación de la zona de estudio en la Serrata. b) Mapa microtopográfico de la zona del abanico de El Hacho con las principales unidades sedimentológicas y la posición de las trincheras estudiadas. c) Vista general de la pared SO de la trinchera 1. d) Perfil geológico de la pared SO de la trinchera 1 con los resultados de las dataciones radiométricas y la interpretación de los horizontes evento de los cuatro paleoterremotos detectados.

La falla de Carboneras

En su parte emergida, la falla de Carboneras se divide en distintos segmentos en función de la expresión geomorfológica que deja en la superficie del terreno (Bell *et al.*, 1997). Las observaciones de campo y de fotografía aérea han determinado el área de La Serrata como el segmento con mayor número de indicios de actividad tectónica reciente (e.g. abanicos aluviales decapitados, canales desplazados y crestas de presión asociadas a fallas inversas afectando a sedimentos cuaternarios).

En base a las observaciones sedimentológicas (abanicos aluviales recientes junto a las fallas), geomorfológicas (abanicos aluviales sin área fuente significativa) y tectónicas (eskarpe de falla en el material cuaternario), se ha escogido el área de El Hacho (segmento SW de La Serrata) para realizar el estudio paleosismológico de detalle. Aquí se han seleccionado dos zonas de estudio que proporcionan información complementaria: a) La zona del abanico de El Hacho, situada al pie del cerro de El Hacho (Figura 1b) donde se ha concentrado la mayor parte del trabajo paleosismológico, y b) La zona del barranco de El Hacho, situada pocos centenas de metros al NE de la anterior. Se presentan aquí los resultados observados en la trinchera TR2 de la zona del abanico de El Hacho (Figura 1c) y en la trinchera BAR TR1 del barranco de El Hacho, por ser las que más datos aportan.

Resultados

Trincheras TR2 y BAR TR1 de la zona de El Hacho

El especial interés de la zona del abanico de El Hacho radica en un eskarpe morfológico al pie del relieve, interpretado como un eskarpe de falla. Este eskarpe pierde expresión morfológica al atravesar el abanico pleistoceno más reciente A3.1 (Figura 1b). Es aquí donde se excavó la trinchera 2.

En la trinchera TR2 se han observado 5 unidades (Figura 1d) subparalelas a la superficie del terreno y truncadas por dos zonas de falla. La zona de falla principal (ZF1) está compuesta por diversas ramas subverticales que delimitan áreas de material altamente deformado (C1, C2, C3, C4 y C5), formando una estructura en flor. Esta zona de falla llega prácticamente hasta la superficie quedando recubierta únicamente por el suelo actual, y contiene estructuras sigmoidales S-C, tanto en

la pared de la trinchera como en el suelo de la misma, que indican un movimiento siniestro e inverso. La zona de falla secundaria (ZF2) mucho más sencilla, no contiene materiales finos, pero llega a afectar a la base de la unidad superior.

Las unidades A2, A3.1 y A3.2 están compuestas por materiales aluviales con suelos carbonatados (localmente caliches laminares) mejor desarrollados cuanto más bajos estratigráficamente. Las unidades B1 y B2 son cuerpos locales siempre asociadas a ZF1, presentan una estructura caótica y se superponen al abanico A2. Estas características sugieren que están ligadas al movimiento de la falla, por lo que se han interpretado como cuñas coluviales, es decir, depósitos generados como consecuencia de un terremoto, y a partir del relieve vertical ocasionado por el movimiento de la falla.

En la zona del barranco de El Hacho la falla queda cubierta por una terraza fluvial más joven que los sedimentos más recientes cortados por la falla en la zona anterior. Se ha excavado aquí una trinchera perpendicular a la falla (BAR TR1) con tal de acotar los últimos movimientos de la falla y complementar, así, los resultados obtenidos en las trincheras de El Hacho. En la pared de la trinchera se observan calcarenitas pliocenas en contacto por falla con el abanico pleistoceno A2. La zona de falla queda claramente fosilizada por sedimentos de piedemonte y por la terraza fluvial.

Eventos sísmicos

Las cuñas coluviales se generan justo después de un evento sísmico, por lo que su base representa un horizonte evento (superficie topográfica en el momento de un terremoto). Por tanto, la base de B1 y B2 forman dos horizontes evento en la trinchera TR2, E1 y E2 respectivamente.

La rama más noroccidental de la zona de falla principal (ZF1) y la zona de falla secundaria (ZF2) afectan a toda la secuencia de materiales hasta la base de A3.2 (celdas C11 y F22). La parte superior de A3.2 está sin deformar aquí, por lo que estas ramas podrían haber actuado mientras se estaba depositando este abanico aluvial, y por tanto, dentro de A3.2 encontraríamos un posible tercer horizonte evento E3.

El último horizonte evento E4 queda marcado por la base del suelo actual, única unidad no afectada por las zonas de falla en esta trinchera. En la trinchera BAR TR1 de la zona del barranco de El Hacho la terraza y el piedemonte, también sin deformar, recubren la zona de fa-

lla por completo y han sido utilizadas para acotar superiormente el último evento de esta zona.

Discusión

Paleoeventos

Con tal de poder acotar la edad de los paleoterremotos observados en las paredes de las trincheras, se han datado los materiales involucrados en la deformación. Los diversos métodos de datación utilizados han permitido contrastar los resultados y la gran cantidad de muestras datadas ha permitido seleccionar aquellas con un resultado más fiable con el conjunto de información disponible, que se incluyen en la figura 1.

El primer horizonte evento observado (E1) queda delimitado, inferiormente por la unidad A2 por lo que el suelo carbonatado acota inferiormente a este evento (54,9 ka BP, tabla I). El caliche de la unidad B1 acota superiormente a E1 en 32,2 ka BP. De este modo, la edad del evento E1 está entre los 54,9 y los 32,2 Ka BP.

El segundo horizonte evento E2 se sitúa entre las unidades B1 y B2, por lo que está acotado inferiormente en 40,9 ka BP. La unidad B2 no está datada y la siguiente edad suficientemente fiable es la situada en la unidad A3.2, por lo que el evento E2 queda acotado entre 40,9 y 27,1 ka BP.

Las ventanas de edades de los eventos E1 y E2 se solapan parcialmente (tabla I). Dado que son claramente dos eventos distintos, la probabilidad de darse E1 disminuye hacia el límite inferior de la edad de B1 (32,2 ka BP) y la probabilidad de que se genere E2 disminuye hacia el límite superior de la edad de B1 (40,9 ka BP).

El evento E3 queda registrado dentro de la unidad A3.2, debido a que la parte inferior de esta unidad está afectada por algunas ramas de la falla, mientras que la superior no lo está. Por tanto, este evento queda acotado inferiormente por las dataciones de la base de A3.2, y superiormente por el suelo actual, no afectado por la falla. Es decir, el evento E3 debió producirse posteriormente a los 30,8 ka.

El último horizonte evento observado en la trinchera TR2, E4, corresponde a la base del suelo actual, única unidad no afectada por la falla en esta trinchera. Por tanto, con los datos de la trinchera de El Hacho el último terremoto generado en esta zona debió ocurrir posteriormente al evento E3 y con anterioridad a la formación del suelo actual, esto es,

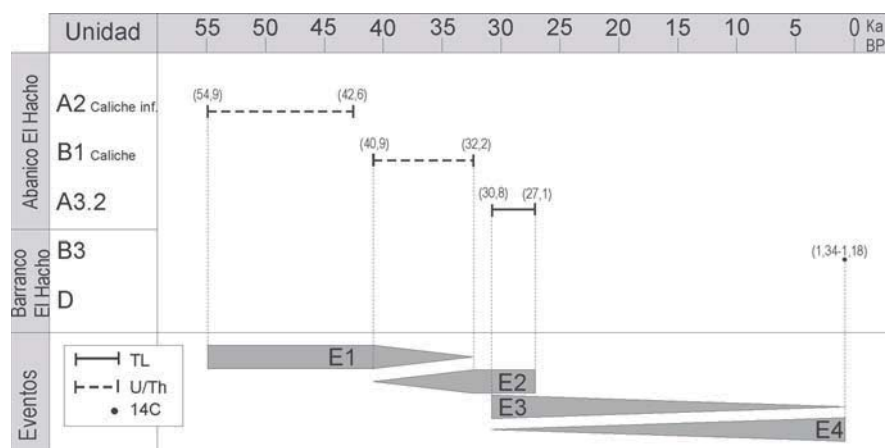


Tabla I.- Resultado de las dataciones que han permitido acotar los horizontes evento observados en las trincheras, y localización temporal de estos eventos sísmicos.

Table I.- Dating results and interpretation of the horizon events obtained from trench analysis.

entre 30,8 ka BP y la actualidad. Sin embargo, en la trinchera del barranco BAR-TR1 encontramos depósitos recientes no afectados por la falla, que acotan superiormente el movimiento de la falla en este segmento en 1180 años BP. Por tanto los eventos E3 y E4 también quedan acotados superiormente en 1180 años BP.

Primeras estimaciones de los parámetros sísmicos

En las trincheras de la zona de El Hacho se han observado unidades sedimentológicas ligadas al movimiento de la falla, formadas a consecuencia de un movimiento brusco de la misma. Esto implica que la falla no es asísmica como sugieren algunos autores, sino que es potencialmente generadora de terremotos. Aún así, es muy probable que solo queden registrados los eventos de gran magnitud, por lo que hay que tener en cuenta que el cálculo de recurrencia es un cálculo de mínimos.

En la trinchera de la zona del abanico de El Hacho, se han descrito un mínimo de 4 eventos. Sabiendo que estos 4 eventos se han generado en un periodo máximo de 54 ka se puede obtener una primera aproximación del periodo de recurrencia mínimo en 14 ka. Además la edad del piedemonte que sella la zona de falla en la zona del barranco de El Hacho, aporta la edad de tiempo mínimo transcu-

rrido desde el último terremoto, 1236 años.

La Falla de Carboneras con 50 km en tierra y más de 100 km en mar, es la estructura más larga del SE de la Península Ibérica. Excluyendo el segmento con «fault gouge» del norte y el segmento sumergido con dirección N60°, podemos considerar una superficie máxima de ruptura en superficie con dirección constante N45° de aproximadamente 70 km. Según Wells y Coopersmith (1994) esto supone una magnitud momento máxima esperable para la falla de Carboneras de 7,2.

Conclusiones

La observación de depósitos sedimentarios cuaternarios deformados al SW de La Serrata (segmento central de la parte emergida de la Falla de Carboneras) indica que esta falla ha sido activa durante el Cuaternario reciente. Además, la observación de micro y macroestructuras sugieren que ha tenido un movimiento predominantemente lateral sinistro pero con cierta componente inversa.

El análisis mediante trincheras en la zona de El Hacho ha permitido identificar depósitos asociados a movimientos bruscos de la falla, evidenciando un comportamiento sismogénico de la falla de Carboneras. En las paredes de las trincheras se han encontrado evidencias de un míni-

mo de 4 eventos sísmicos, y las dataciones radiométricas han permitido acotar estos eventos temporalmente: E1 (54,9-32,2 ka BP), E2 (40,9 - 27,1 ka BP), E3 (30,8 - 1,1 ka BP) y E4 (30,8 - 1,1 ka BP). Esto supone un periodo de recurrencia promedio de 14 ka y un tiempo transcurrido desde el último evento de 1236 años.

Agradecimientos

Este proyecto está financiado por el proyecto IMPULS del Plan Nacional I+D+I, MCYT (REN 2003-05996/MAR) y la acción complementaria «Caracterización del potencial sísmico de la falla de Carboneras mediante trincheras» del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007 (CGL2004-20214-E). Forma parte del programa Consolider-Ingenio 2010, CSD 2006-0004 «Topo-Iberia».

Referencias

Bell, J. W., Amelung, F. y King, G. C. P. (1997). *Journal of Geodynamics*, 24 (1-4), 51-66.

Buforn, E., Sanz de Galdeano, C. y Udías, A., (1995). *Tectonophysics*, 248, 247-261.

Gràcia, E., Pallàs, R., Soto, J.J., Comas, M., Moreno, X., Masana, E., Santanach, P., Diez, S., García, M. y Dañobeitia, J.J. (2006). *Earth and Planetary Science Letters*, 241, 734-749.

Larouzière De, F., Bolze, J.J., Larouzière De, F.D., Montenat, C. y Ott d'estevou, P. (1988). *Tectonophysics*, 152, 41-52.

Masana, E., Villamarín, J.J. y Santanach, P. (2001). *Acta Geològica Hispànica*, 36 (3-4), 329-353.

Masana, E., Martínez-Díaz, J.J., Hernández-Enrile, J.L. y Santanach, P. (2004). *Journal of Geophysical Research*, 109, 1-17.

Masana, E., Pallàs, R., Perea, H., Ortuño, M., Martínez-Díaz, J.J., García-Meléndez, E. y Santanach, P. (2005). *Journal of Geodynamics*, 40, 119-133.

Stich, D., Serpelloni, E., Mancilla, F.L. y Morales, J. (2006). *Tectonophysics*, in press.

Wells, D.L. y Coppersmith, K.J. (1994). *Bulletin Seismological Society of America*, 84, 974-1002.