

SOBRE LOS FACTORES RELACIONADOS CON LA EVALUACIÓN DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA EN LA REGIÓN DE MURCIA

R. Amores, J. L. Hernández-Enrile y J. J. Martínez-Díaz
Universidad Complutense de Madrid, amoresl@eucmos.sim.ucm.es

RESUMEN

En este trabajo se desarrolla una metodología empírica con fines a la estimación de la peligrosidad sísmica en un sector de la Región de Murcia. Ello ha dado como resultado: 1) la identificación de dos fuentes sismogénicas independientes en el sector noreste de la Depresión del Guadalentín. Estas son las zonas de falla de Alhama de Murcia y de Carrascoy. Ambas zonas de falla, responsables de la mayor parte de la sismicidad en dicho sector, están definidas por los planos de falla de dirección NE-SW observados en superficie y fallas ocultas que discurren a lo largo del borde e interior de dicha Depresión. 2) La caracterización preliminar de las citadas fuentes sismogénicas: el máximo terremoto potencial (cuya magnitud varía entre 5.7 y 6.3) y el intervalo de recurrencia en el segmento Lorca-Totana de la Falla de Alhama de Murcia (inferior a 10.000 años). Estos datos preliminares que caracterizan las fuentes sismogénicas han sido deducidos a partir de la segmentación tectónica de fallas y de la aplicación de técnicas paleosísmicas. 3) A fin de contribuir a la obtención de espectros específicos de respuesta del movimiento del suelo en emplazamientos de interés, se contemplan dos escenarios de peligrosidad distintos, entre las fallas-fuente de Alhama de Murcia y de Carrascoy con respecto a un emplazamiento seleccionado (la ciudad de Murcia). Se establece la estructura y naturaleza del basamento y secuencias neógenas del sector septentrional de la Depresión del Guadalentín entre las fallas-fuente y dicho emplazamiento. La existencia de un sustrato de sedimentos blandos, cuya potencia varía entre 200 y 300 metros representa un factor clave relacionado con la propagación de las ondas sísmicas y supuestos fenómenos de amplificación de ondas desde las citadas fallas-fuente sismogénicas hasta la ciudad de Murcia.

Palabras clave: Cordilleras Béticas (Región de Murcia), peligrosidad sísmica, caracterización de fuentes sismogénicas, segmentación tectónica, paleosismicidad.

SUMMARY

In this work an empirical methodology is developed for seismic hazard assessment in Murcia Region. These are the results: 1) The Alhama and the Carrascoy Faults are two independent seismogenetic sources in the Guadalentín Depression. This faults, responsible of the seismicity in this area, are formed by the superficial trends and parallel blind faults in the borders and into the depression. 2) The preliminar characterization of this fault- sources has been done: the maximum potential magnitude (between 5.7 and 6.3) and the interval of recurrence (less then 10.000 years). This data has been estimated from the tectonic segmentation of the faults and from paleosimological studies. 3) Two seismic hazard scenarios are used in order to contribute to obtain specific seismic spectra-response to soil movements in a selected site (Murcia town). The structure and features of the basement and miocene secuencias in the Guadalentín Depression are defined. The existence of a soft layer is a key factor to control the seismic weve propagation from the seismogenetic fault-sources to the Murcia town.

Key wors: Betic Belt (Murcia Region), seismic hazard, seismogenetic source characterization, tectonic segmentation, paleosismicity.

Introducción

La estimación de la peligrosidad sísmica lleva implícita, según se reconoce actualmente, gran incertidumbre, incluso en zonas con una alta tasa de ocurrencia de terremotos fuertes. Tal incertidumbre reside, por lo general, en la falta de conocimiento y caracterización de los parámetros sísmicos y geológicos del área-fuente sismogénica vinculados a la estimación de la peligrosidad sísmica. En este sentido, por ejemplo, se definen las zonas-fuente sismogénicas como aquellas áreas dentro de las cuales la sismicidad se asume que es uniforme y donde se ubica una familia de fallas activas, capaces de generar terremotos de características similares. Este concepto de zona sismogénica no deja de ser subjetivo y, en consecuencia, arrastra una gran incertidumbre como se viene reconociendo (Sánchez Cabañero y Jiménez, 1999), por considerarse extremadamente simplificado respecto al concepto de falla-fuente o zona de falla-fuente sismogénica, cuya caracterización individual reducirá el rango de incertidumbre.

Por lo general, los estudios de peligrosidad sísmica que se han venido realizando tienen en cuenta la acción de todas las zonas fuente sismogénicas que rodean un emplazamiento dado, sin diferenciar el máximo sismo potencial específico para cada zona de falla-fuente ni la distancia fuente-emplazamiento. En la actualidad y de acuerdo con el concepto de escenario de peligrosidad (Ishikawa et al, 1988; Boomer et al, 1998, Benito y Cabañas, 1999 y Benito y Jiménez, 1999), se consideran independientemente los valores de magnitud-distancia (M-R) de cada falla fuente con respecto a un emplazamiento dado. De aquí que la predicción del movimiento del suelo se lleva a cabo específicamente para cada falla fuente, próxima o lejana. La intensidad que se derive de la actividad de ambas generará distintos modelos espectrales, debido al par M-R y al comportamiento del medio en la atenuación de las ondas desde la fuente sismogénicas al emplazamiento. El presente estudio pretende contribuir al desarrollo de una metodología empírica aplicada a la estimación de la peligrosidad sísmica, que implica los objetivos que a continuación se exponen.

Objetivos

En relación con estos planteamientos, el presente trabajo pretende abordar de forma preliminar la estimación de los distintos factores a considerar en la evaluación de la peligrosidad sísmica en un sector de la Región de Murcia. Estos factores son, por una parte, la identificación y caracterización de las fuentes sismogénicas y, por otra, caracterizar, a través de la naturaleza y la estructura en superficie y profundidad, el medio de propagación de las ondas sísmicas (path geology) desde la fuente al emplazamiento.

Marco geológico

La zona objeto de estudio se concreta en la Depresión del Guadalentín y áreas adyacentes a la misma, ubicadas en las zonas internas del sector oriental de las Cordilleras Béticas (fig.1). La Depresión del Guadalentín es una morfoestructura que se extiende con dirección NE-SW a lo largo de unos 100 Km (Silva, 1994; Martínez Díaz y Hernández Enrile, 1996 y Martínez Díaz, 1998). En el sector noreste, entre Lorca y Murcia (fig.2), esta depresión está limitada al norte por la falla activa de Alhama de Murcia, de dirección también NE-SO (Bousquet y Montenat, 1974; Montenat et al, 1985, 1987 a y b; Martínez Díaz et al, 1992 a, b y c; Silva, 1994).

Dicho accidente separa unidades de basamento aflorante de naturaleza Maláguide, como es el caso de la Sierra de Espuña, de los depósitos recientes pliocuaternarios que

yacen en la citada depresión. Este mismo accidente tectónico de Alhama limita estos depósitos recientes de las cuencas neógenas de Lorca y de Alhama-Fortuna (fig.2). Por otra parte, esta depresión pliocuaternaria está limitada al sur, a través del accidente tectónico de la Falla de Carrascoy (Rodríguez Estrella, 1986; Silva, 1994; Rodríguez Estrella et al., 1999), que lo separa de los bloques de basamento de naturaleza fundamentalmente Alpujárride que, junto con pequeños afloramientos de Maláguide y depósitos de edad Neógena configuran la Sierra de Carrascoy (Sanz de Galdeano et al., 1997).

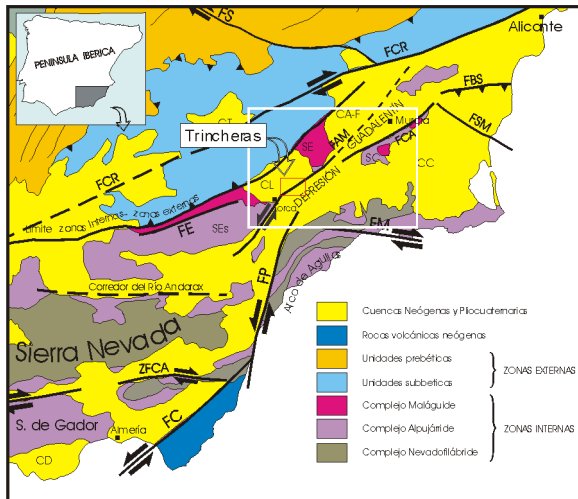


Fig. 1 Esquema geológico-estructural donde se señala el área de trabajo. En dicho esquema se representan las unidades del sureste Bético (zonas internas y externas) y accidentes tectónicos principales. FS: falla de Socovos; FCR: falla de Crevillente; FE: falla de Las Estancias; FNB: falla Norbética; FAM: falla de Alhama de Murcia; FCA: falla de Carrascoy; FBS: falla del Bajo segura; FSM: falla de San Miguel; FM: falla de las Moreras; FP: falla de Palomares; ZFCA: zona de falla del corredor de las Alpujarras; FC: falla de Carboneras; CL: cuenca de Lorca; CA-F: cuenca de Alhama-Fortuna; SE: Sierra de Espuña; SC: Sierra de Carrascoy; SES: Sierra de las Estancias. Modificado de Martínez Díaz, 1998.

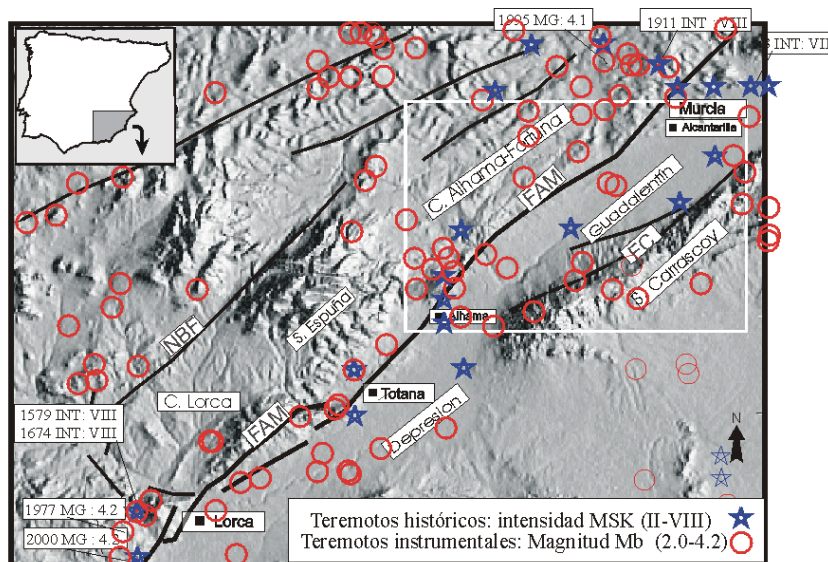


Figura 2. Modelo digital donde se observan los relieves morfoestructurales (la Sierra de Espuña y la Sierra de Carrascoy) y las cuencas Neógenas (Cuenca de Lorca, Cuenca de Alhama-Fortuna y Depresión del Guadalentín). Se representan las fallas activas, la Falla de Alhama de Murcia y la Falla de Carrascoy. En la distribución de epicentros históricos e instrumentales se destacan los terremotos de significativa magnitud y/o intensidad. Modificado de Martínez Díaz et al., 2000.

Identificación y caracterización de fuentes sísmogenéticas

De acuerdo con el desarrollo metodológico que se expresa en la fig.3, los resultados morfoestructurales y tectónicos de superficie (fig.4), junto con el levantamiento gravimétrico (fig.5, Amores et al., 2001) y la distribución de la sísmicidad (Ibargüen Soler y Rodríguez Estrella, 1996) han permitido establecer la relación entre las deformaciones recientes (de edad cuaternaria) y la sísmicidad con singulares accidentes tectónicos como son la Falla de Alhama de Murcia y de Carrascoy (fig. 2 y 4).

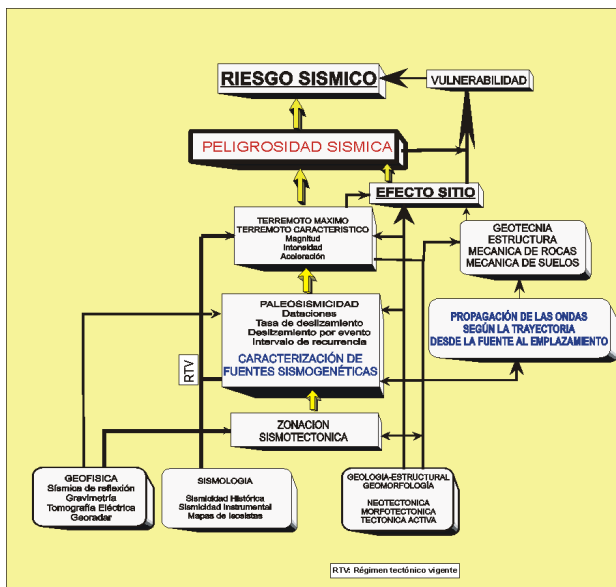


Figura3. Organigrama referente a las disciplinas y, en su caso, a las metodologías afines para la determinación de factores y/o parámetros que conducen a la estimación de la peligrosidad y riesgo sísmico. Este cuadro está basado en el organigrama metodológico y de plan de trabajo correspondientes a proyectos sobre tectónica activa aplicada a la peligrosidad sísmica (AMB97-0523 y REN2001-1337, Hernández Enrile et al., 1997 y 2001).

Por otra parte, de las lineaciones estructurales resultantes de la desnivelación del techo de basamento (fig.5), definen una zona de falla-fuente oculta que discurre paralelamente a las trazas de los planos de falla observados en superficie de los accidentes activos ya citados. La combinación de las zonas de falla en superficie con estas fallas ocultas asociadas, define dos zonas de falla-fuente sísmogenéticas independientes, la zona de falla-fuente de Alhama y de Carrascoy. Esta relación entre las fallas observadas en superficie y

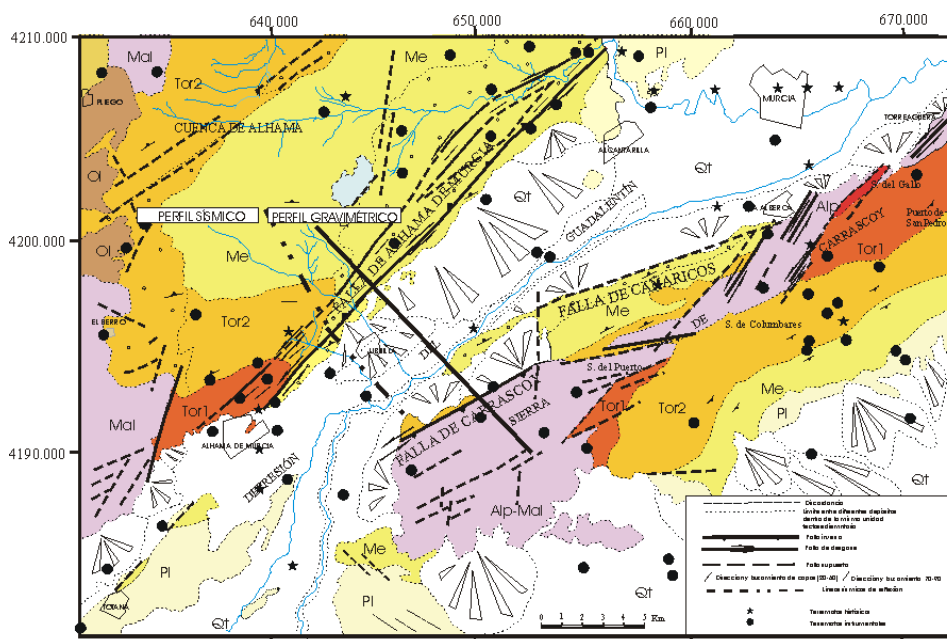


Fig. 4 Mapa geológico del sector noreste de la Depresión del Guadalentín (modificado de Egeler et al., 1974 y Núñez et al., 1976). Se han representado los epicentros de los terremotos históricos e instrumentales, así como la localización del perfil gravimétrico y sísmico interpretados en este trabajo. Mal: Maláguide, Alp: Alpujarride, Ol: Oligoceno, Lan: Langhiense, Ser: Serravaliense, Tor 1: Tortoniense Inferior, Tor 2: Tortoniense Superior; Me: Mesiniense; Pl: Plioceno; Qt: Cuaternario.

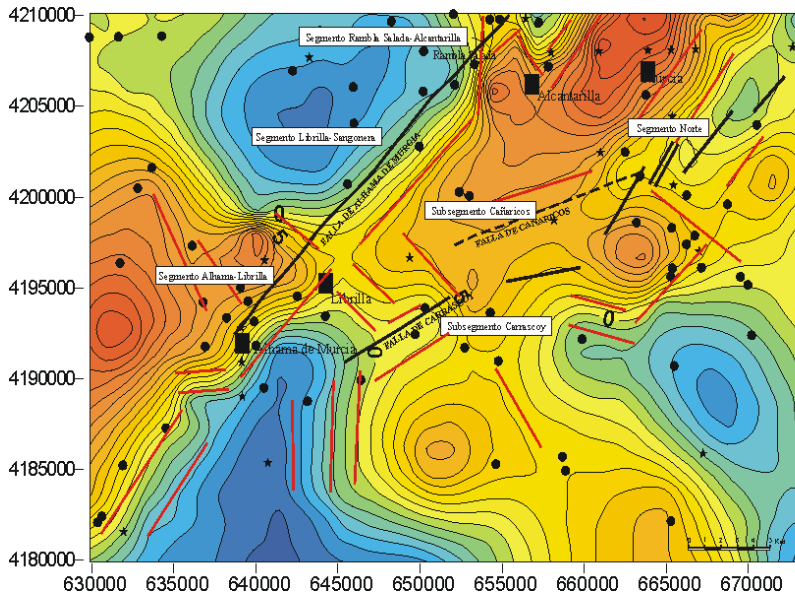


Figura 5. Mapa de anomalías de Bouguer residuales en el sector septentrional de la Depresión del Guadentín. En líneas negras se representa la traza de las fallas de Alhama y Carrascoy, coincidiendo con los límites de la citada Depresión (explicación en el texto). Las líneas rojas representan fallas ocultas interpretadas que afectan al basamento y que coinciden con la dirección de accidentes tectónicos principales observados en superficie. Adicionalmente se ha superpuesto la distribución de epicentros históricos e instrumentales.

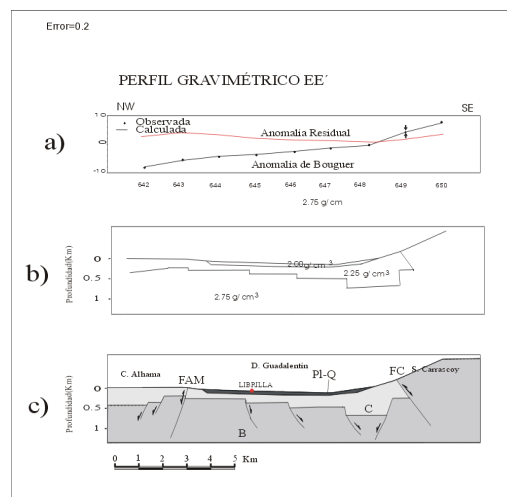
fallas ocultas se pone de manifiesto en los perfiles gravimétrico y sísmico mostrados en la fig. 6 a y b.

De acuerdo con esta identificación de las zonas de falla-fuente en este área de la Depresión del Guadentín, se lleva a cabo a continuación la caracterización preliminar de las mismas en cuanto a: a) Geometría, cinemática y dinámica de las fallas-fuente sismogénicas principales. b) Máximos sismos potenciales e intervalos de recurrencia.

a) Geometría, cinemática y dinámica de las fallas-fuente sismogénicas principales:

En la zona de Falla-fuente de Alhama de Murcia se observa, a partir de la interpretación de perfiles de sísmica de reflexión (fig. 6b), una geometría de falla lítrica, junto con fallas sintéticas planares que se propagan desde la falla principal hacia los niveles superiores. Esta zona de falla, como antes citamos, se extiende a lo largo de 100 Kilómetros desde Huerca-Overa hasta Alcantarilla, con una dirección que varía entre N45E y N65E. Dicho accidente tectónico se manifiesta en superficie por dos corredores entre los cuales yacen en unos tramos materiales de edad pliocena y, en otros, de edad cuaternaria, como es el caso del segmento Lorca –Totana. Por lo que se refiere a la cinemática de este accidente, se considera, para el régimen tectónico compresional vigente (Tortonense Superior-actualidad), un movimiento inverso-direccional sinistral (Bousquet y Montenat, 1974; Rutter et al., 1986; Montenat, 1990). Si bien, para tiempos anteriores neógenos, su actividad estuvo bajo el control de un régimen tectónico extensional coetáneo con el origen y evolución de la Cuenca de Lorca (Martínez Díaz y Hernández Enrile, 1992 y 1996) y de la Cuenca de

Fig. 6a Perfil gravimétrico cuya localización se muestra en la figura 4. a) valores de la anomalía de Bouguer y residual. B) modelo de densidades ajustado y c) interpretación geológico estructural.



Alhama-Fortuna (Amores et al., 2000). No obstante, esta tectónica extensional ha sido considerada por otros autores en otras zonas de las Cordilleras Béticas (Armijo, 1977; Doblas y Oyarzum, 1989; Platt y Vissers, 1989; García Dueñas y Banyolá, 1992, Montenat y Ott d'Estevou, 1996), si bien con una temporalidad diversa, llegando incluso a tiempos pliocenos.

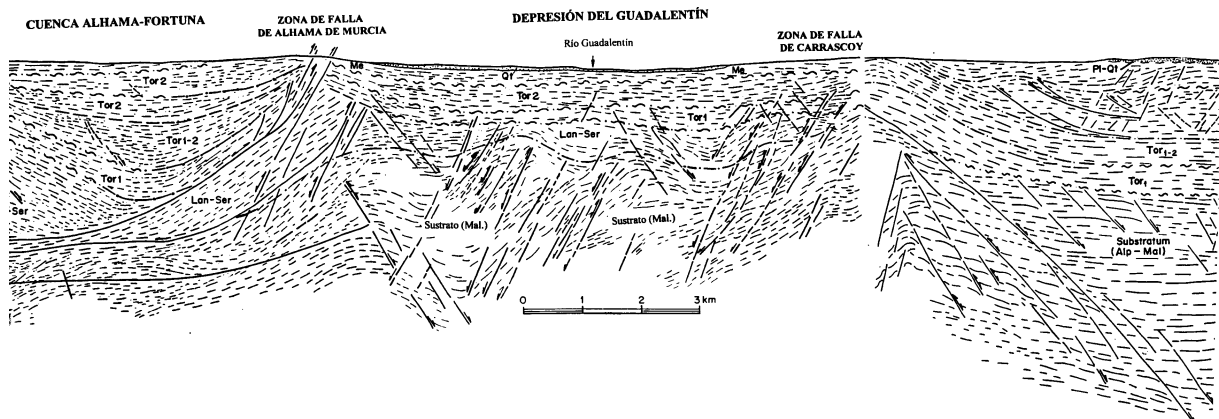


Fig. 6 b. Interpretación del perfil sísmico localizado en la fig.4. Se indican las zonas de falla de Alhama y Carrascoy. A la derecha del perfil se encuentra ubicada la Cuenca de Alhama, en el centro la Depresión del Guadalentín y a la izquierda se ha continuado el perfil mostrando la zona de la Falla de Carrascoy. Modificado de Amores et al., 2001

La zona de Falla-fuente de Carrascoy, a diferencia de la anterior, presenta una geometría planar (fig.6), con un buzamiento variable (50-65°) hacia el sureste. Este accidente se caracteriza por presentar una traza de dirección N70E resultante de la intersección de los planos de falla con la superficie, únicamente observable en el tramo más meridional (Sierra de Carrascoy, fig.4). Sin embargo, como lineación estructural de dirección N70E se continúa hacia el noreste (Sierra del Gallo), como se deduce de la cartografía geológico-estructural (fig.4) y de las lineaciones estructurales deducidas en el mapa de anomalías residuales (fig.5). La cinemática de este accidente es predominantemente inversa.

Esta zona de falla de Carrascoy está intersectada por fallas transcurrentes sinistras de dirección N45-50E a la altura de la localidad de La Alberca (fig.4). El área de intersección de estas zonas de falla coincide con un incremento de la sismicidad.

b) Máximos sismos potenciales e intervalos de recurrencia: estos dos factores, vinculados a la estimación de la peligrosidad sísmica, se han podido determinar de forma preliminar utilizando metodologías tales como la segmentación tectónica de fallas y técnicas paleosísmicas.

Segmentación tectónica: Entre los criterios que nos han permitido realizar una segmentación tectónica de ambas zonas de falla, se han aplicado: a) Cambios en la geometría de la falla (fundamentalmente de dirección) e intersección con fallas de geometría y cinemática distinta; b) Diferentes grados de actividad a lo largo de las fallas fuente, deducidos de diferentes saltos de falla y/o por la naturaleza, distribución, potencia y edad de los depósitos superficiales (abanicos aluviales) vinculados a la actividad de dichos accidentes y c) Distribución espacial y temporal (histórica e instrumental) de la sismicidad asociada a las fallas activas.

Además de estos tres criterios que determinan la segmentación y explican las variaciones sismotectónicas laterales de cada falla-fuente, se han aplicado los resultados obtenidos del mapa de anomalías residuales de Bouguer (fig.5), así como de los perfiles gravimétricos afines a este mapa (fig. 6a) y de los perfiles de sísmica de reflexión (fig. 6b)

Segmentación tectónica de la Zona de Falla-fuente de Alhama de Murcia: en primer lugar se hace referencia al tramo septentrional (Alhama-Alcantarilla, fig.2), considerado como un único segmento en anteriores trabajos (Silva, 1994; Martínez Díaz, 1998 y Martínez Díaz y Hernández Enrile, 1999) y, en segundo lugar, a un tramo más meridional (Lorca-Totana).

Tramo Alhama-Alcantarilla:

2)El segmento Alhama-Librilla, de 7 Km de longitud según la traza observada en superficie (fig.4). Por criterios morfológico-sedimentarios se ha limitado este segmento al noreste, coincidiendo con la proximidad de la localidad de Librilla. Este límite coincide con la lineación estructural N140E que se observa en el mapa de anomalías residuales del techo de basamento de la Depresión del Guadalentín. A partir de la interpretación estructural del basamento y del mapa de superficie, este segmento está definido por la intersección de lineaciones de fractura de direcciones NE-SW y E-W, que en conjunto configuran un bloque con una distribución de sismicidad asociada al mismo.

3) El segmento Librilla-Rambla Salada, de 13 Km de longitud, se caracteriza por una lineación estructural NE-SW sin perturbación alguna por otros accidentes (figs.4 y 5), hasta su límite noreste, donde aparece interrumpido por una lineación estructural de basamento N-S. Esta lineación se reconoce en superficie a través de morfoestructuras y fracturas de igual dirección. Esta zona de interacción en este tramo de la zona de falla de Alhama de Murcia y la fracturación N-S coincide con una mayor sismicidad que el resto de la traza del segmento establecido de Librilla-Rambla Salada.

4) El segmento Rambla Salada-Vega del Alto Segura (Alcantarilla), de 5 Km de longitud, está limitado al norte por el corredor tectónico de la Vega del Alto Segura de dirección N140E. Este segmento de la zona de falla de Alhama de Murcia, junto con los límites N-S y N140E definen un bloque con una distribución de sismicidad afín al mismo.

Para estimar la sismicidad teórica potencial de los distintos segmentos establecidos en el tramo Alhama-Alcantarilla de la Falla de Alhama de Murcia, se han utilizado las relaciones empíricas de Wells y Coppersmith (1994). Esta relación se basa en la correlación de datos empíricos de terremotos cuyas magnitudes y tamaños de rotura eran conocidos. En base a éstas relaciones, las magnitudes estimadas para dichos segmentos oscilan entre 5.7 y 6.3 (fig. 7).

Tramo Lorca-Totana:

Por lo que se refiere a este tramo, de 23 km de longitud, fue considerado por Silva (1994) por un único segmento tectónico. Sin embargo, Martínez Díaz (1998) y Martínez Díaz y Hernández Enrile (1999) establecen una sucesión de segmentos menores con los mismos criterios que se han utilizado para el tramo Alhama-Alcantarilla, tanto en el corredor norte(CNL 1, 2 y 3) como en el sur (CSL 1, 2 y 3) de la Falla de Alhama de Murcia.

Las dimensiones de estos segmentos menores, junto con los saltos cosísmicos identificados por técnicas paleosísmicas (trincheras) han permitido una estimación preliminar de la magnitud máxima potencial de un terremoto en cada uno de los segmentos, de forma que las magnitudes potenciales que caben esperar de la reactivación de los mismos, en relación con la longitud de rotura de los mismos, oscilan entre 5 y 6.3 (fig. 7).

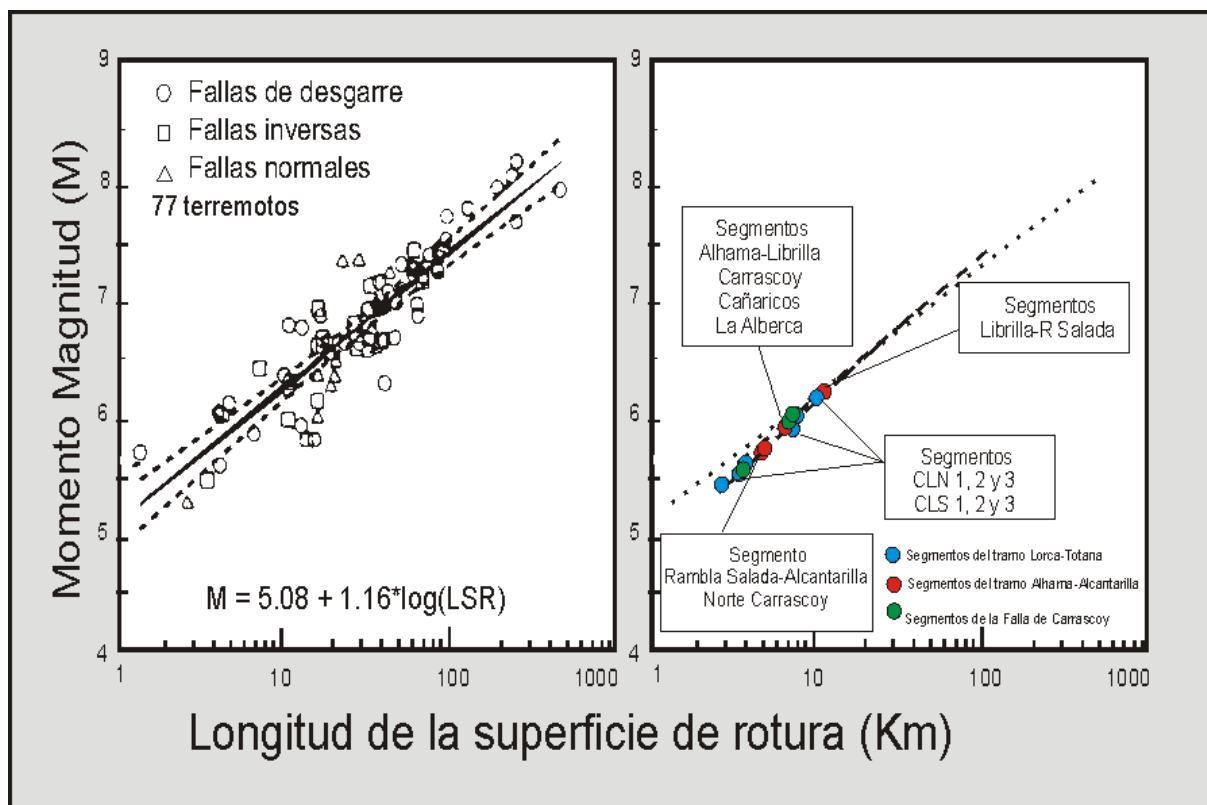


Fig.7 a) relación de Wells and Copersmith (1994) utilizadas en la estimación de las magnitudes potenciales; b) magnitudes potenciales calculadas para cada uno de los segmentos descritos en el texto.

Segmentación de la Zona de Falla-fuente de Carrascoy: este accidente, tal y como se expuso anteriormente, se manifiesta a través de la traza N70E que se extiende a lo largo de la Sierra de Carrascoy. Este accidente se interpreta que continua hacia el noreste según lineaciones estructurales definidas por la cartografía geológico-estructural (fig.4), llegando a alcanzar unos 40 km de longitud.

De acuerdo con las características geométricas de este accidente, y teniendo en cuenta criterios estructurales y sedimentarios, se distinguen los siguientes tramos:

- 1) Segmento de Carrascoy, de 8 km de longitud: situado en el sector sur de la Sierra de Carrascoy. Está limitado al norte y al sur por sendas fracturas de dirección N-S (fig.5)
- 2) Segmento de Cañaricos, de 7 km de longitud: este segmento, situado a continuación, queda limitado en su extremo norte por un sistema de fallas transcurrentes de dirección N45-50E. En contraste con el anterior segmento, no se aprecia sismicidad ninguna.
- 3) Segmento de La Alberca, de 7 Km de longitud: se caracteriza por aparecer superpuesta a la lineación N70E una zona de dislocación derivada de la actividad de fallas transcurrentes N45-50E más recientes. La sismicidad distribuida en el entorno de este segmento ha de atribuirse, probablemente, a la actividad de estos últimos accidentes,

paralelos a la zona de falla de Alhama y que transponen este segmento de la Falla de Carrascoy.

4) Segmento norte de Carrascoy (Sierra del Gallo), de 5 km de longitud: está limitado en su borde meridional por los citados accidentes de dirección N45-50E y por accidentes N140E (fig.5). La intersección de esta lineación estructural N140E y el corredor de dirección N70E coincide con una concentración de la sismicidad.

Las magnitudes máximas potenciales que se deducen para estos segmentos, a través de la relación empírica de Wells y Coppersmith (1984), oscilan entre 5.5 y 6 (fig. 7).

Intervalos de recurrencia

El segmento Lorca-Totana de la Falla de Alhama de Murcia (fig.2) está configurado en superficie por dos zonas de dislocación o fractura, entre las cuales yacen los depósitos de abanicos aluviales procedentes de la erosión de la Sierra de la Tercia (fig. 8), la cual fue levantada por la actividad inversa de la zona de dislocación o falla norte de Alhama de Murcia. A partir del modelo digital se observa como estos depósitos de abanicos están afectados por el corredor sur de la Falla de Alhama, indicando una actividad tectónica reciente de dicho corredor. Esto fue motivo de la ejecución de técnicas paleosísmicas a través de la apertura de trincheras perpendiculares a la traza de la falla y cuya distribución puede observarse también en la fig.8. En cada una de las trincheras realizadas con la participación del Dto. De Geodinámica de la Universidad de Barcelona, se han reconocido eventos paleosísmicos con ruptura superficial (fig.9), que llegan, en algunos casos, a superar los 15 cm. Las dataciones absolutas realizadas confirman de forma preliminar que se han producido un mínimo de tres eventos I en los últimos 30.000 años, si bien es muy probable que este número de eventos se incremente al correlacionar la información aportada por cada una de las trincheras, en orden a saltos y dataciones. Así pues, los tiempos de recurrencia, aunque aún no están suficientemente acotados, son inferiores a 10.000 años, coherentes con la tasa de movimiento de entre 0.2 y 0,4 mm/a calculada para la FAM desde el Mioceno superior (Martínez-Díaz y Hernández Enrile, 1996) y con las relaciones empíricas que asocian los períodos de recurrencia con las tasas de movimiento a largo plazo de las fallas (Villamor y Berryman, 1999).

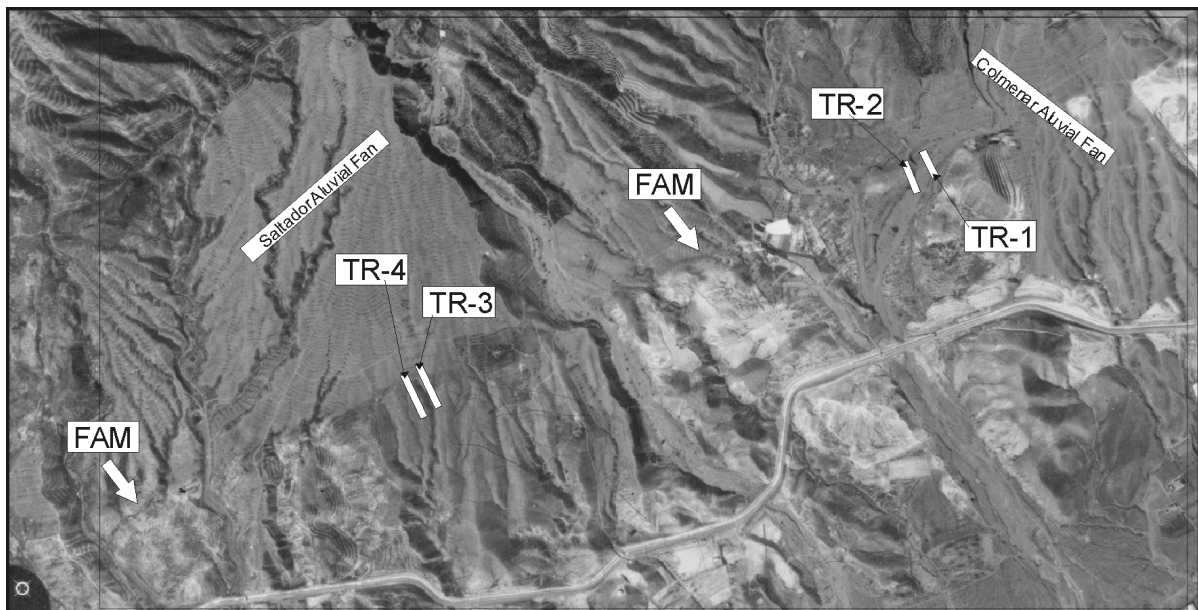


Fig. 8 Localización de las trincheras realizadas a lo largo del corredor sur del tramo Lorca-Totana de la Zona de Falla de Alhama de Murcia. Se puede observar como dicho corredor deforma los depósitos recientes procedentes de la erosión de la Sierra de la Tercia.

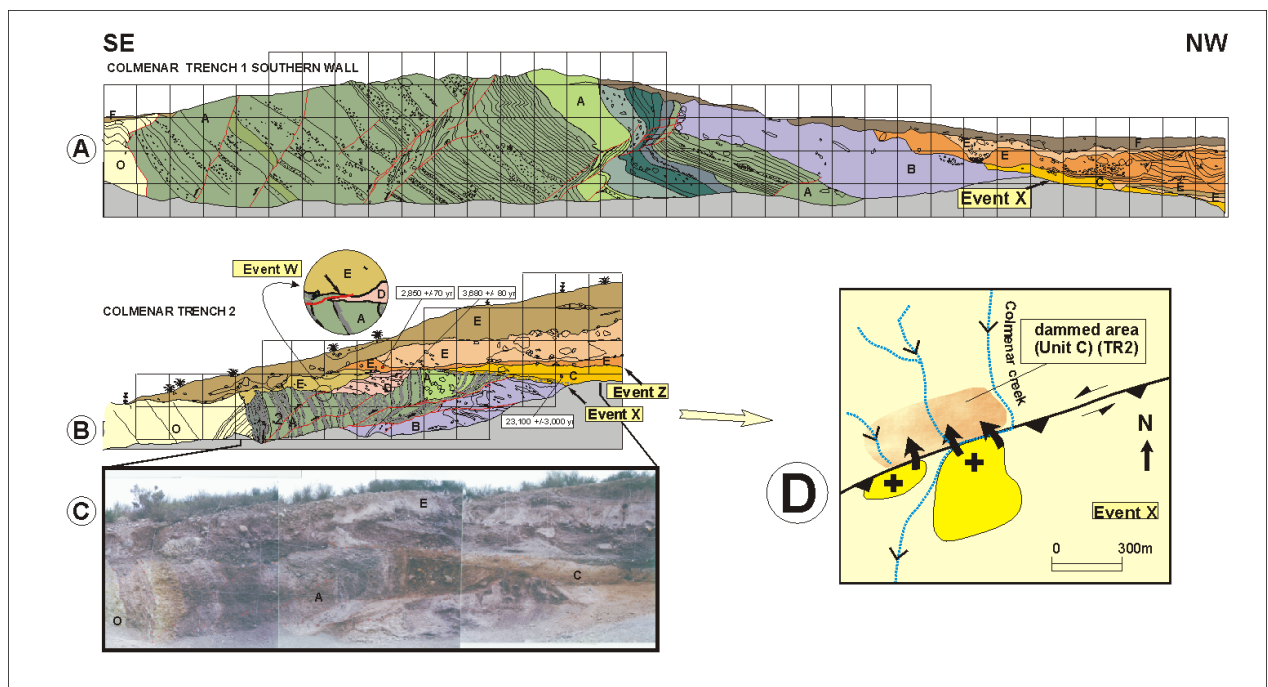


Fig. 9 Perfiles geológicos de detalle obtenidos en las trincheras Colmenar 1 y 2, localizadas en la figura anterior.

Propagación de ondas sísmicas desde las fallas-fuente sismogénéticas hasta un emplazamiento seleccionado

Como se indicó en el planteamiento de este trabajo, en los estudios de peligrosidad sísmica se han de considerar independientemente cada una de las fallas-fuente, caracterizadas por el terremoto máximo potencial y por su distancia al emplazamiento, definiendo así los escenarios de peligrosidad (Benito y Cabañas, 1999). En este sentido, se consideran dos escenarios de peligrosidad según dos zonas de falla-fuente independientes: la zona de falla de Alhama y de Carrascoy, y un emplazamiento común (la ciudad de Murcia). Para la primera fuente se ha seleccionado uno de los segmentos más activos de la zona de Falla de Alhama de Murcia, como es el de Alhama-Librilla, mientras que para la segunda fuente de la Falla de Carrascoy, el segmento de La Alberca.

El movimiento del suelo esperado en el emplazamiento causado por el máximo terremoto potencial de cada zona de falla-fuente considerada, presentará distintos valores de intensidad con la distancia (leyes de atenuación). En relación a ello, la aportación de este trabajo está en orden a la caracterización del medio (path geology), entre la fuente sismogénética y el emplazamiento, a través de la determinación de su estructura geológica y naturaleza, de lo cual precisa la estimación de las leyes de atenuación locales.

La superposición metodológica de la geología regional y local, junto con los métodos geofísicos en el sector septentrional de la Depresión del Guadalentín (gravimetría y sísmica de reflexión, fig.5 y 6b) ha dado como resultado, para ambos escenarios de peligrosidad, el conocimiento de la estructura y profundidad relativa del techo del basamento de naturaleza

Maláguide y/o Alpujárride en el interior de la Depresión, así como de la distribución y estructura de la secuencia sedimentaria neógena y pliocena que yace en discordancia sobre el basamento.

En relación con el escenario de peligrosidad de la zona de falla de Alhama (fuente sismogénica lejana al emplazamiento de la ciudad de Murcia), se destaca la presencia de depósitos blandos de naturaleza margosa que llegan a aflorar en superficie y cuya potencia varía entre 200 y 300 (fig. 6 b). Esta unidad superior de baja rigidez, representa un factor clave relacionado con la propagación de las ondas sísmicas y supuestos fenómenos de amplificación local de ondas.

Para el segundo escenario de peligrosidad, relacionado con la zona de falla de Carrascoy (fuente próxima al emplazamiento de la ciudad de Murcia), se ha reconocido, mediante sondeos eléctricos y mecánicos, la naturaleza del sustrato inmediato constituido por facies detríticas (gravas alternando con facies más finas de limos-arcillas y arenas), de variable grado de consolidación y cuya potencia oscila entre 100 y 150 metros (Rodríguez Estrella et al., 1999). Estos depósitos, superpuestos a la unidad margosa descrita en el primer escenario, caracterizan el sustrato inmediato del emplazamiento de la ciudad de Murcia.

Conclusiones

- Se identifican como fallas-fuente sismogénicas en el sector septentrional de la Depresión del Guadalentín, en base a la superposición de criterios estructurales (de superficie y basamento), morfológicos, sedimentarios y la distribución de la sismicidad, las Zonas de Falla de Alhama y de Carrascoy, configuradas no sólo por las zonas de cizallamiento frágiles observadas en superficie, sino también por fallas ocultas en el interior de la Depresión del Guadalentín, asociadas geométrica y cinemáticamente a dichos accidentes tectónicos.
- Se lleva a cabo la caracterización de cada una de estas fallas-fuente, con la estimación preliminar del terremoto máximo para cada uno de los segmentos de la zona de falla de Alhama de Murcia (tramo Alhama-Alcantarilla) y la zona de falla de Carrascoy. Asimismo, se comparan estas magnitudes con las obtenidas a partir de los segmentos menores en el tramo Lorca-Totana de la zona de falla de Alhama. Las magnitudes potenciales correspondientes oscilan entre 5.7 y 6.3 para los segmentos identificados en el tramo Alhama-Alcantarilla, entre 5 y 6.3 para los segmentos del tramo Lorca-Totana y entre 5 y 6.3 para los segmentos de la zona de falla de Carrascoy.
- Adicionalmente, dentro de esta caracterización, se establecen de forma preliminar a través de técnicas paleosísmicas, los periodos de recurrencia en el tramo Lorca-Totana son inferiores a los 10.000 años.
- Se establecen dos escenarios de peligrosidad, definidos por la magnitud potencial del segmento Alhama-Librilla de la zona de falla de Alhama y del segmento de la Alberca de la zona de falla de Carrascoy para un emplazamiento común (la ciudad de Murcia).
- En relación con el escenario de peligrosidad de la zona de falla de Alhama (fuente sismogénica relativamente lejana al emplazamiento de la ciudad de Murcia), se destaca la presencia de unidad superior de baja rigidez, que representa un factor clave relacionado con la propagación de las ondas sísmicas y supuestos fenómenos de amplificación local de ondas.
- Para el segundo escenario de peligrosidad, relacionado con la zona de falla de Carrascoy (fuente próxima al emplazamiento de la ciudad de Murcia), se ha

reconocido la presencia de facies detríticas (gravas y limos) que se superponen al sustrato margoso inmediato en el emplazamiento de la ciudad de Murcia.

- Otro factor a tener en cuenta en la caracterización del movimiento del suelo es la morfología de valle que presenta la Depresión del Guadalentín, de 10 km de anchura aproximadamente, y en cuyo interior se ubica el emplazamiento seleccionado (ciudad de Murcia)

Referencias:

- Amores, R., Hernández Enrile J.L. y Martínez Díaz, J. J. (2001). Workshop on the Geodynamics of the Western Part of the Eurasian-African Plate Boundary (Azores-Tunisia), San Fernando (Cadiz).
- Benito, B. y Cabañas, L. (1999). Física de la Tierra. 11 , 49-79.
- Benito, B. y Jiménez, M.E. (1999). Física de la Tierra. 11, 13-47.
- Boomer, J.J. y Martínez Pereira, A. (1988). 11ª World Conference on Earthquake Engineering, nº 84, 8.
- Bousquet, J C y Montenat, C. (1974). C. R. H. S. de l'Academie des Sciences, Serie D: Sciences Naturelles. 278: 21 , 2617-2620.
- Egeler, C. G., Kampschuur, W., Langenberg, C. W, Montenat, Ch., Pignatelli, R. y Rondeel, H. E. (1974). Mapa Geológico de España. Alcantarilla. 934. IGME.
- Doblas, M. y Oyarzun, R. (1989). Geology (Boulder). 18: 4. 430-433
- García-Dueñas, V., Balanyá, J. C. y Martínez-Matínez, J.M. (1992) Ge-Marine Letters. 88-95
- Hernández Enrile, J. L., Martínez Díaz, J. J., Masana, E. y Santanach. P. (2000). Geotemas. I Congreso Geológico de España. 334-339.
- Ibargüen Soler, J. y Rodríguez Estrella, T. (1996). VI Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología ambiental y Ordenación del Territorio. Vol.2. 407-423.
- Ishikawa, Y. y Kameda, H. (1998). 9ª World Conference on Earthquake Engineering, Tokio, vol. 2, 89-94.
- Martínez Díaz, J. J. (1998). Tesis doctoral, U.C.M. 466p.
- Martínez Díaz, J. J. y Hernández Enrile, J. L. (1992a). Bol. Geológico y Minero. 103-6, 971-983.
- Martínez Díaz, J. J. y Hernández Enrile, J. L. (1992b). III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. Simposios, tomo 2, 420-430.
- Martínez Díaz, J. J. y Hernández Enrile, J. L. (1992c). Estudios geológicos 48, 153-162.
- Martínez Díaz, J. J. y Hernández Enrile, J. L. (1996). VI Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Granada. Vol II. 479-496.
- Martínez Díaz, J. J. y Hernández Enrile, J. L. (1999). I Congreso de Ingeniería Sísmica. Murcia. Memorias. Tomo 1a., 75-87.
- Martínez Díaz, J. J. y Hernández Enrile, J. L. (2000). I Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica. IX Asamblea Española de Geodesia y Geofísica. CD-Rom.
- Martínez Díaz, J. J., Hernández Enrile, J. L., Masana, E. y Santanach, P. (2001a). Workshop on the Geodynamics of the Western Part of the Eurasian-African Plate Boundary (Azores-Tunisia), San Fernando (Cádiz).
- Martínez Díaz, J. J., Masana, E., Hernández Enrile, J. L., y Santanach. P. (2001b). Acta Geológica Hispánica. Monográfico: Paleosismicidad en España.
- Montenat, C, Ott D'Estevou, Ph. y Masse, P. (1985). Rés. Comm. Séance Spéc. Soc. Géol. France. Paris
- Montenat, C, Ott, d Estevou P, de, Larouziere F D, y Bedu, P. (1987a). Notes et Memoires - Compagnie Francaise des Petroles. 21 , 11-49.
- Montenat, C, Ott, d Estevou P, y Masse, P. (1987b). Bull. des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine. 11: 1 , 1-22.

- Montenat, Ch. y Ott D'Estevou, P. (1996). In: Tertiary basins of Spain. Peter F. Friend and Cristino J. Dabrio. 372-386.
- Núñez, A., Martínez, W., y Colodrón, I. (1976). Mapa Geológico de España. Murcia. 934, IGME.
- Platt, J P y Vissers, R L M. (1989). Geology (Boulder). 17: 6. 540-543
- Rodríguez Esrtrella, T. (1986). I Jorn. de Est. del Fenóm. Sísmico y su incidencia en la Orden. del Territorio. IGN. Murcia.
- Rodríguez-Estrella, T., Hernández Enrile, J. L. y Ibargüen, J. (1999). I Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Tomo 1a. 53-63.
- Sánchez Cabañero. J.G. y Jiménez Juan, A. (1999). I Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Tomo 1a. 207-225
- Sanz de Galdeano, C. (1990). Estudios Geologicos (Madrid). 46: 1-2 , 123-134.
- Sanz de Galdeano C, Lopez Garrido A C, Garcia Tortosa F J y Delgado, F. (1997). Estudios Geologicos (Madrid). 53: 5-6 , 229-236.
- Silva. P. (1994). Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid , 642.
- Villamor, P. y Berryman, K. (1999) I Congreso Nacional de Ingeniería sísmica. Murcia. 153-163.
- Wells, D. L. and Coppersmith, K. J. (1994). Bull. Seism. Soc. of America. 84-4, 974-1002.