

Estudio Preliminar de la Paleosismicidad de la Falla de Benasau (Cuenca de Alcoy, Alicante, España) *Preliminary Study of the Paleoseismicity of the Benasau Fault (Alcoy Basin, Alicante, Spain)*

Julián García-Mayordomo⁽¹⁾, José J. Martínez-Díaz⁽²⁾, Antonio Arcos⁽¹⁾ y Rafael Blázquez⁽³⁾

⁽¹⁾Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, Universidad Politécnica de Madrid
jmayordomo@dumbo.camino.upm.es; antonio.arcos@teleline.es

⁽²⁾Departamento de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid jmdiaz@geo.ucm.es

⁽³⁾E.T.S.I.C.C.P., Universidad de Castilla La Mancha

SUMMARY

The Benasau Fault is located at the western end of the Sierra Serrella, on the border between the External and Internal Prebetic Zones in the Betic Cordillera. This is an area of low to moderate seismicity although destructive earthquakes have occurred in the past. It is not known which are the seismogenic sources in the area. In this paper an outcrop located in colluvial deposits lying on the Benasau Fault is studied. The preliminary research carried out shows a record of at least four seismic events. Three of these can be inferred from the presence of paleosol surfaces that display characteristic progressive discordance. The calculated fault slip of each event allow us to estimate moment magnitudes of up to 7.3 using published empirical relationships. The recurrence intervals, surface length ruptures and slip rate of the fault are hypothesized. More research is required in order to obtain more reliable data. The results shown in this paper should only be considered as an indication of the quaternary activity of the Benasau Fault as well as an approach to improve future seismic hazard analysis in the area.

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios de paleosismicidad son fundamentales a la hora de evaluar la peligrosidad sísmica de regiones donde la escasa actividad sísmica no permite identificar inequívocamente las fuentes sismogénicas y por tanto estimar la máxima magnitud que pueda producirse en ellas y su periodo medio de recurrencia.

Este es el caso de la Cuenca de Alcoy (Alicante) donde, si bien se han registrado sismos intensos en el periodo pre-instrumental (Alcoy, 1645 (MSK= IX) y 1620 (MSK=VII); Guadalest, 1544 MSK=VII), no se conocen las fallas sismogénicas causantes.

En esta ponencia se presentan de forma preliminar las relaciones paleosísmicas que se observan entre la Falla de Benasau (Pierson d'Autrey, 1987; García-Mayordomo, 1998) y los depósitos cuaternarios coluviales adosados al plano de la misma.

2. ENTORNO GEOLOGICO

La zona de estudio se localiza en el extremo sureste de la Cuenca de Alcoy, concretamente en la brusca terminación occidental de la Sierra de Serrella (1.359 m.) (figura 1). Desde un punto de vista regional la zona de estudio se sitúa en el paso de la Zona Prebética Interna, al sur, a la Zona Prebética Externa, al norte, dentro de las grandes unidades geológicas de las Cordilleras Béticas descritas en esta zona (I.G.M.E., 1975).

La Sierra Serrella es un importante accidente orográfico que se extiende en la dirección noreste-suroeste. En su extremo occidental está compuesta por materiales calizos y margocalizos de edad Cretácico, Eoceno y Oligoceno que conforman un pliegue anticlinal (I.G.M.E., 1975). Al norte limita con el valle del río Valleseta y al oeste con el de Peñagüila. Ambos ríos están fuertemente encajados en los potentes materiales margosos Miocenos, conocidos localmente como Tap, que prácticamente componen la totalidad de la depresión de la Cuenca de Alcoy.

En su extremo oeste las unidades calizas y margocalizas pre-Miocenas se ven interrumpidas por la acción de la Falla de Benasau de dirección N 115° y buzamiento 60° S. Este límite queda de manifiesto por la abrupta terminación de la Sierra Serrella que provoca un desnivel topográfico de más de 700 metros. La Falla de Benasau se observa de modo espectacular a lo largo de un kilómetro afectando a los materiales competentes calizos del frente montañoso. Hacia el noroeste y sureste la traza de la falla penetra en los sedimentos margosos Tap donde se identifica con dificultad.

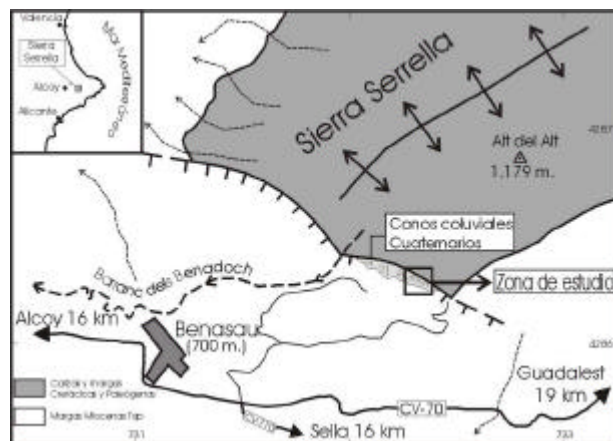


Figura 1 – Localización y entorno geológico de la Falla de Benasau y de los depósitos coluviales estudiados. (Location and geological framework of the Benasau Fault and the colluvial deposits studied in this paper.)

3. ESTRUCTURA Y GEOMETRÍA DE LA ZONA DE FALLA

Al pie del frente montañoso de Sierra Serrella y controlados por la falla de Benasau se desarrollan unos depósitos con morfología de cono que han sido objeto de una explotación de áridos (figura 2). Una de las taludes de esta cantera ha sido aprovechado para analizar la estructura de la zona afectada por dicha falla.

Los citados conos están compuestos por gravas angulosas con cantos calcáreos de tamaños entre los 2-15 cm. Ocasionalmente se observan bloques sueltos de caliza de unos 50 cm. Se presentan en capas de espesores de 20-60 cm que pueden llegar hasta el metro. En general dentro de las capas la selección de tamaños es de media a buena. La matriz varía de una capa a otra pudiendo ser de tipo arenoso con alguna componente limosa o estar totalmente ausente presentándose la grava limpia.

La morfología de estos depósitos, su desarrollo al pie de un frente montañoso con un gran desnivel y sus características composicionales indican que se trata de conos de deyección formados por depósitos coluviales, originados por el

desprendimiento de fragmentos del macizo rocoso fracturado y transportados principalmente por efecto de la gravedad.

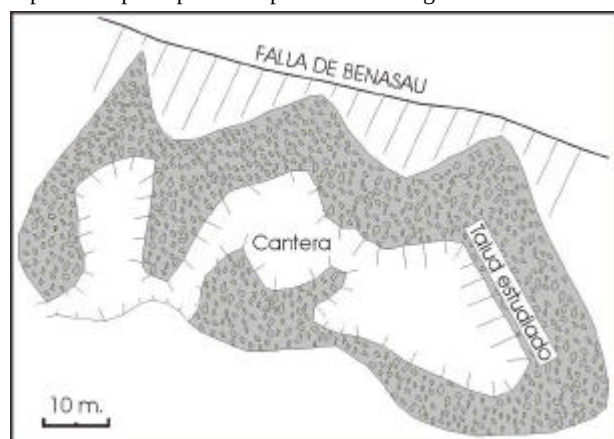


Figura 2 – Disposición espacial de los conos de deyección asociados a la Falla de Benasau e indicación del talud estudiado.
(Spatial distribution of the colluvial cones associated to the Benasau Fault. The talus studied is also indicated)

Ocasionalmente se localizan niveles edafizados (horizontes B). Son frecuentes los niveles de acumulación de carbonatos que confieren al material una consistencia de roca (caliche).

Los conos de deyección se sitúan directamente sobre el plano de la Falla de Benasau, sin llegar a cubrirlo. Este plano se desarrolla sobre los materiales calizos de la Sierra Serrella y sobresale de la superficie con alturas en general de 1-3 metros, pudiendo alcanzar hasta 8 metros.

Se presenta además como una superficie muy pulida de color gris, sobre la que es frecuente observar el desarrollo de costras ferruginosas y de calcita, aunque en general el grado de alteración del plano es bajo producto de una meteorización superficial.

En el plano de falla son muy numerosos los indicadores cinemáticos, de los cuales el más evidente son unas gruesas estrías (grooves) que recorren toda su superficie con anchuras que por término general varían de 0.5 a 3 cm. El ángulo de cabeceo de las estrías sobre el plano de falla es de 90°, si bien ocasionalmente puede variar hasta los 75°. El sentido de movimiento deducido es de falla normal, levantándose el bloque de la Sierra Serrella respecto del bloque donde se localizan los conos de deyección. Debido a la rotación que produce este movimiento los niveles coluvionares aparecen basculados hacia el plano de falla.

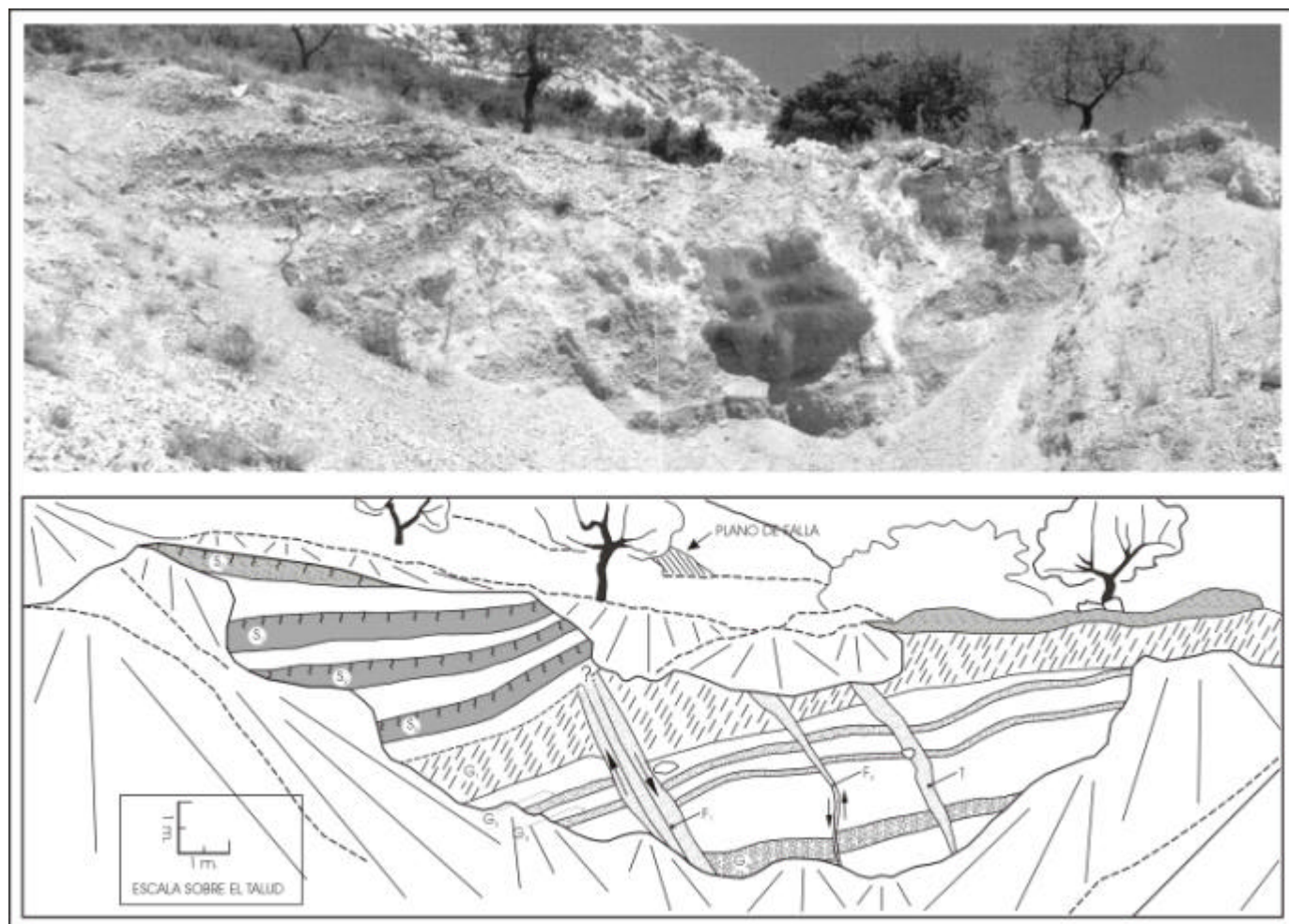


Figura 3 – Vista del talud estudiado y su interpretación. Explicación en el texto. (Picture and interpretation of the talus studied. Explanation in the text.)

4. ESTUDIO PALEOSISMICO

La actividad de la Falla de Benasau puede inferirse a partir del estudio de la estructura interna de los conos coluviales adosados a ella. Concretamente en esta ponencia se exponen las observaciones preliminares realizadas sobre un talud de 22 metros de dirección N340° (figura 2). En este talud se han identificado, de arriba a abajo, las siguientes unidades (figura 3): Suelo actual (S_0),

3 niveles con desarrollo de procesos edáficos (S_1 , S_2 y S_3), una unidad inferior de gravas muy cementada (G_1) y 3 niveles continuos de gravas (G_2 , G_3 y G_4). Las unidades S_1 , S_2 y S_3 muestran características típicas de horizontes edáficos B, como es el contenido en finos y un característico color pardo de oxidación. Además, en la unidad S_1 se ha encontrado abundante materia orgánica.

Asimismo, se han identificado 3 discontinuidades que se presentan cementadas por carbonato cálcico: F_1 , F_2 y T. La F_1 es una falla normal que desplaza todas las unidades de grava (G_1 , G_2 , G_3 y G_4) unos 45 cm. Además se observan en su estructura interna planos menores de cizalla que rompen la cementación del relleno. La F_2 es una falla inversa con un salto vertical menor (15 cm. aprox.). Por último la discontinuidad T no presenta desplazamientos perceptibles en el afloramiento y por tanto la interpretamos como una grieta de tracción.

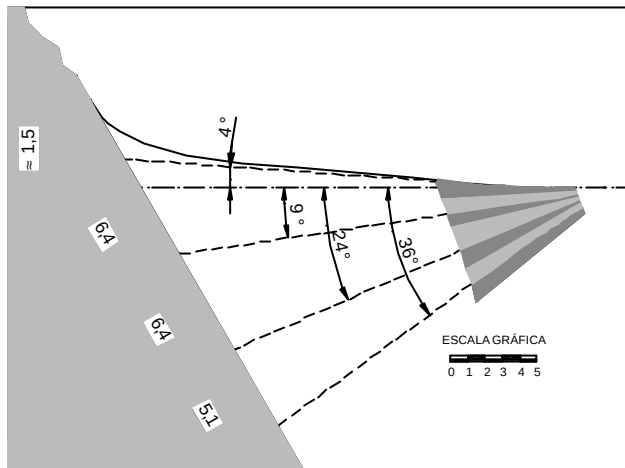


Figura 4 – Esquema que muestra el modo de cálculo de los saltos de falla, una vez corregidas geoméricamente las medidas tomadas en campo. (Scheme showing method for calculating the fault slip, after geometrical correction of measurements taken in the field.)

La presencia de las fallas F_1 y F_2 demuestra la ocurrencia de al menos un movimiento normal de la Falla de Benasau. La F_1 puede interpretarse como una falla secundaria sintética de la principal. La falla F_2 podría asociarse al efecto de acomodación del movimiento de basculamiento del bloque hundido, que provocaría un efecto de empuje lateral que explica su sentido inverso. La presencia de cizalla interna en el relleno carbonático de la F_1 , así como su importante grosor apuntan hacia una posible reactivación en un segundo evento tectónico. El cambio de buzamiento que presentan la F_2 y la T podrían estar también relacionadas con este segundo movimiento. Los movimientos detectados en las fallas F_1 y F_2 serían por tanto roturas secundarias producto del desplazamiento principal que tendría en lugar sobre el plano de la Falla de Benasau.

Las unidades S_1 , S_2 y S_3 se interpretan como paleosuelos. Su característica disposición en forma de discordancia progresiva y claramente anómala en relación con la pendiente natural del terreno (S_0) indican su relación directa con al menos tres movimientos en la Falla de Benasau. La ocurrencia de éstos podría estar relacionada con la formación y reactivación de la F_1 . En el afloramiento no se observa con claridad si la F_1 llega a afectar a la base de la unidad S_3 pero en cualquier caso su techo no aparece afectado.

De las observaciones anteriores se pueden inferir un total de al menos 3+(162) movimientos en la Falla de Benasau.

Estimación de los desplazamientos:

El desplazamiento que experimenta el terreno en cada movimiento de la falla es un dato importante de cara a estimar un valor de la magnitud del paleoterremoto.

La presencia de los paleosuelos S_1 , S_2 y S_3 y sus relaciones geométricas respecto del nivel del suelo actual (S_0) así como con el plano de falla pueden utilizarse para estimar los saltos de falla correspondientes a cada terremoto (figura 4). Previo a realizar el cálculo se procedió, mediante el uso de técnicas geométricas, a trasladar el plano del talud, así como los ángulos de buzamiento

de los techos de las unidades S, a un plano vertical que contenga la dirección de buzamiento (dirección del salto) del plano de falla principal. Las medidas de direcciones en campo fueron realizadas mediante brújula y las medidas de distancia mediante cinta métrica. Se han tomado los buzamientos de la parte del techo de las unidades más próxima a una línea recta. Esta medida goza de una incertidumbre estimada en $\pm 5^\circ$. Así mismo también se considera una incertidumbre de $\pm 5^\circ$ en la dirección del plano de falla debido a sus irregularidades naturales. Sin embargo la mayor incertidumbre procede de la imposibilidad de poder correlacionar las unidades a un lado y otro del plano de falla como sería lo ideal. Además, debido a que se proyectan líneas rectas a una distancia dada sobre el plano de falla sin tener en cuenta la variación en el buzamiento de las capas (que en conos de deyección son grandes y rápidas) estimamos que la medida real de los saltos podría ser de la mitad de los calculados.

5. ESTIMACION DE PARAMETROS SISMICOS

La obtención de la magnitud de paleoterremotos, así como la estimación de sus intervalos medios de recurrencia, son datos muy valiosos a la hora de realizar un análisis de la peligrosidad sísmica. Para ello es necesario estudiar la longitud de la falla en su totalidad, definir segmentos de rotura independientes, medir los desplazamientos producidos en cada evento, datar las unidades sedimentarias afectadas. Por tanto, los datos aquí expuestos son del todo insuficientes para la adecuada caracterización sísmica de la Falla de Benasau. Sin embargo creemos que es interesante realizar un ejercicio de cálculo en vistas a obtener unos primeros datos que pongan de manifiesto su importancia desde el punto de vista de la peligrosidad sísmica.

Asumiendo que los saltos de falla obtenidos en el apartado anterior representan desplazamientos cosísmicos y aplicando las expresiones empíricas obtenidas por Wells y Coppersmith (1994) se puede estimar la magnitud de los al menos 3 eventos sísmicos registrados en las unidades S (tabla 1).

Además se ha calculado la longitud de ruptura en superficie y el intervalo de recurrencia correspondiente a cada uno de ellos por diferentes expresiones empíricas, y asumiendo una tasa de deslizamiento estimada por comparación con fallas activas de similares características (ver notas al pie de la tabla 1).

Del mismo modo se han calculado todos los parámetros anteriores suponiendo que los saltos máximos son la mitad de los estimados mediante la técnica geométrica descrita en el apartado anterior. Se ha de considerar además que pudieran ser mas de tres terremotos con lo que al hacerse menor el salto cosísmico de cada evento la magnitud y longitud de rotura serían menores.

Tabla 1 – Estimación preliminar de los parámetros sísmicos de la Falla de Benasau (Preliminary estimation of the Benasau Fault seismic parameters)

Salto estimado (1) metros	Magnitud Momento (2)	Longitud ruptura (3) Km.	Tasa de deslizamiento (4) mm/año	Intervalo recurrencia (5) Ka
6.4	7.3	76 – 50	0.20	20 – 35 – 55
6.4	7.3	76 – 50		20 – 35 – 55
5.1	7.2	67 – 49		20 – 28 – 50
3.2 ⁽⁶⁾	7.1	52 – 46	0.10	40 – 35 – 70
3.2 ⁽⁶⁾	7.1	52 – 46		40 – 35 – 70
2.55 ⁽⁶⁾	7.0	46 – 45		40 – 28 – 65

- (1) Se considera el salto de falla como desplazamiento máximo en el evento.
- (2) Calculadas mediante formulación empírica de Wells y Coppersmith (1994), desviación estándar ± 0.4 .
- (3) La primera cifra calculada según formulación empírica a partir del desplazamiento máximo del terremoto (Wells y Coppersmith, 1994) y la segunda a partir del momento sísmico (Hanks y Kanamori, 1979) y considerando un espesor de corteza sismogénica de 10 Km. La longitud de ruptura observada en campo es muy inferior, si bien la parte

que se interna en los depósitos margosos de la cuenca es de momento difícil de cuantificar.

- (4) Estimación realizada asumiendo que la velocidad de la Falla de Benasau es comparable con otras fallas normales de características similares en las Cordilleras Béticas (Martínez-Díaz, 2000).
- (5) La primera cifra calculada según recta de regresión tasa de deslizamiento vs. Periodo de recurrencia (Villamor y Berryman, 1999); Segunda estimación a partir de gráfico magnitud vs. Tasa deslizamiento vs. Intervalo de recurrencia (Slemmons, 1982); Tercera estimación a partir del momento sísmico de cada evento con el momento sísmico geológico (Wesnousky, 1986).
- (6) Considerando la mitad del salto estimado en campo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se ha comentado anteriormente los parámetros sísmicos calculados deben considerarse como una estimación preliminar de la peligrosidad sísmica de la Falla de Benasau.

En este trabajo se pone de manifiesto la importancia que tiene la Falla de Benasau en relación con la peligrosidad sísmica de la Cuenca de Alcoy y en general la provincia de Alicante.

La Falla de Benasau debe ser objeto de nuevos estudios de carácter más extensivo en vistas a obtener estimaciones de sus parámetros sísmicos más confiables. Éstos deben comprender una cartografía completa de toda la falla, incluyendo su prolongación en el interior de la cuenca de Alcoy, y el estudio de nuevos afloramientos así como de estudios de geomorfología tectónica. Es importante señalar la posibilidad de realizar dataciones de muestras de la materia orgánica presente en los depósitos cuaternarios aquí estudiados.

La falla de Benasau es una falla activa y debe ser considerada en el diseño sismorresistente de las construcciones que tengan lugar en la región, especialmente en las clasificadas como de especial importancia en la normativa NCSE-94 (1994).

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado a través de una beca de Formación de Personal Investigador de la Comunidad de Madrid.

1. REFERENCIAS

- García-Mayordomo, J. (1998): "Riesgo Sísmico en la Cuenca de Alcoy. Aproximación a una Zonificación Sísmica". *Tesis del Master de Ingeniería Geológica, Universidad Complutense de Madrid*, 98 pp.
- Hanks, T.C. and I. Kanamori (1979): "A moment magnitude scale". *Journal of Geophysical Research*, **84**, 2348-2350.
- I.G.M.E. (1975): "Mapa Geológico de Alcoy. Escala 1:50.000." *Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria, Serie Magna nº 821*.
- Martínez-Díaz, J.J. (2000): "Actividad Neotectónica en el sur de Almería y su incidencia en la morfotectónica de la zona." *Revista de la Sociedad Geológica de España*, **13**, 3-4:31-43.
- NCSE-94 (1994): "Real Decreto 2543/1994, de 29 de diciembre por el que se aprueba la Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación." *Boletín Oficial del Estado, miércoles 8 de febrero de 1995*.
- Pierson d'Autrey, L. (1987): "Sédimentation et Structuration Syndérmamentaire dans le Bassin Neogène d'Alcoy (Cordillères Bétiques Externes Orientales – Espagne)". *Ph. D. Thesis, Universidad de Paris XI-Orsay, París*, 314 pp..
- Slemmons, S.G. (1982): "Determination of design earthquake magnitudes for microzonation". *3rd International Earthquake Microzonation Conference Proceedings*, 1417-1427.
- Villamor, P. y K. R. Berryman (1999): "La tasa de desplazamiento de una falla como aproximación de primer orden en las estimaciones de peligrosidad sísmica". *Memorias del Primer Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Tomo Ia*, 153-163, Murcia (España) 12-16 de Abril.
- Wells, L.D. and K. J. Coppersmith (1994): "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement". *Bulletin of the Seismological Society of America*, **84**, 4, 974-1002.
- Wesnousky, S.G. (1986): "Earthquakes, Quaternary Faults, and Seismic Hazard in California". *Journal of Geophysical Research*, **91**, B12, 12587-12631.