

# Nuevos datos de actividad paleosísmica de la falla de Alhama de Murcia en el abanico de La salud (segmento Lorca-Totana), Béticas orientales

## *New paleoseismic data for the Alhama de Murcia Fault in the La Salud alluvial fan (Lorca-Totana segment) Betic Cordillera*

C. Canora<sup>1</sup>, C. Roca<sup>1</sup>, J. Martínez-Díaz<sup>1,2</sup>, J.M. Insua-Arévalo<sup>1</sup>; F. Martín-González<sup>3</sup>, J. Alonso-Henar<sup>1</sup>, D. Gómez-Ortiz<sup>3</sup>, P. Martínez-Pagan<sup>4</sup>, E. Masana<sup>5</sup>, M. Ortuño<sup>5</sup>, M. Ferrater<sup>5</sup> y A. Medialdea<sup>6</sup>

1 Dpto. de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid. [ccanora@geo.ucm.es](mailto:ccanora@geo.ucm.es)

2 IGEO:Instituto de Geociencias (UCM,CSIC)

3 Departamento de Biología y Geología, Física y Química Inorgánica. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid,

4 Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Civil. Univ. Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 52 30203 - Cartagena

5 RISKINAT. GEOMODELS. Dept. Geodinámica i Geofísica, Fac. Geologia, Univ. de Barcelona, 08028 Barcelona

6 Department of Geography, University of Sheffield, Sheffield S10 2TN, UK

**Resumen:** La Falla de Alhama de Murcia (FAM) es una falla de desgarre sinistral y cierta componente inversa, que fue la responsable del terremoto más catastrófico producido en España en los últimos 50 años, el terremoto de Lorca de 2011 (Mw 5.2). En este trabajo se presenta el estudio de dos trincheras paleosísmicas excavadas en la superficie del abanico aluvial de La Salud que se encuentra cubriendo la traza de la FAM en el sector oriental del segmento Lorca-Totana. La excavación de las trincheras se apoya en la realización de una prospección geofísica mediante tomografía eléctrica y perfiles GPR con el objetivo de obtener nuevos datos de recurrencia sísmica en esta zona de la falla. Tanto las trincheras como los datos geofísicos son coherentes con la existencia de un plano de falla buzando 30° hacia el sur que deforma visiblemente los últimos depósitos del abanico. Las trincheras nos indican la ocurrencia de entre 3 y 6 eventos paleosísmicos de ruptura superficial en los últimos 31 ky.

**Palabras clave:** Falla de Alhama, paleosismología, GPR, tomografía eléctrica, terremotos.

**Abstract:** *The Alhama de Murcia Fault (FAM) is a left-lateral strike-slip fault with reverse component. This fault is located in the southeast of Spain and produces the 2011 Lorca earthquake (Mw 5.2), that was the most catastrophic earthquake occurred in Spain in the last 50 years. In this paper we present the analysis of two paleoseismic trenches excavated in La Salud alluvial fan, with the aim to obtain new recurrence data for the eastern section of the Lorca-Totana segment of the fault. The structure that we observed in the trenches is recognizable in the electric tomography and GPR profiles undertaken in the study area. Both the paleoseismic trenches and the geophysics analysis are consistent with the existence of a fault plane dipping 30° to the south. This fault plane deforms the younger fluvial fan deposits. The paleoseismic study indicates the existence of between 3 and 6 surface rupture events in the last 31 ka for this strand of the fault.*

**Key words:** *Alhama Fault, paleosismology, GPR, electric tomography, earthquakes.*

## INTRODUCCIÓN

La Falla de Alhama de Murcia (FAM) es una estructura de desgarre sinistral con componente inversa y dirección NE-SO que cruza la parte más oriental de la Cordillera Bética (Fig.1). Muchos de los mayores terremotos históricos que se han producido en esta zona están relacionados con su actividad. Esta falla fue además responsable del mayor terremoto producido en España en los últimos 50 años, el terremoto de Lorca de 2011 (Mw 5.2) (López-Comino et al., 2012). A pesar de su magnitud moderada, este terremoto afectó enormemente a la ciudad de Lorca causando cuantiosos daños materiales y nueve muertos.

En los últimos años varios estudios se han centrado en la caracterización de la actividad paleosísmica y la determinación de los parámetros sísmicos de la FAM como son la velocidad de

deslizamiento, los intervalos de recurrencia y la magnitud máxima esperable (i.e Martínez-Díaz et al., 2012; Ortuño et al., 2012; Ferrater et al., 2016). El presente trabajo pretende aportar nuevos datos de recurrencia y situar de forma exacta la posición de la traza de la falla en uno de los abanicos aluviales que cubre la misma y que hasta ahora no había sido estudiado desde esta perspectiva.

Se ha realizado un estudio paleosísmico a través de la excavación de dos trincheras en la rambla de La Salud. Además se ha realizado una campaña de exploración geofísica consistente en perfiles de Georradar y de tomografía eléctrica en el tramo del abanico de La Salud que cubre la traza de la FAM en el sector oriental del segmento Lorca-Totana.

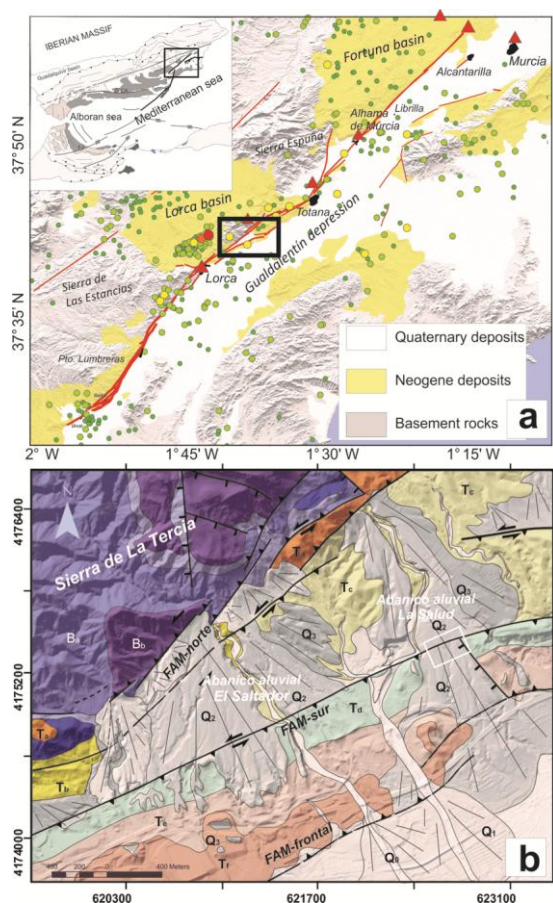


FIGURA 1. a) Mapa de situación de la falla de Alhama de Murcia en la que se proyecta la sismicidad instrumental de  $M > 1.5$  de profundidad menor de 20 km así como la sismicidad histórica (triángulos rojos) de intensidad  $> VI$  a lo largo de la falla. El cuadro enmarca la situación de la figura b) en la que se muestra un mapa geológico del sector estudiado que abarca los abanicos de El Saltador y La salud. Ba-b: rocas del basamento Alpujárride; Ta-f: formaciones de edades que van del Tortonense Superior al Plioceno; Q0-3, depósitos aluviales Cuaternarios de más antiguos Q<sub>3</sub> a más modernos Q<sub>0</sub>.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

La zona de estudio está situada al sureste de la Península Ibérica, en las Zonas Internas de la Cordillera Bética (Fig.1a), compuesta por rocas Paleozoicas, Mesozoicas y Terciarias que han sufrido una historia compleja, perteneciendo al extremo más occidental del Cinturón Orogénico Alpino.

Durante el periodo neotectónico (Tortonense superior-actualidad), la zona ha estado dominada por el proceso de convergencia de las placas Africana y Euroasiática con dirección NNO-SSE a una velocidad de unos 5 mm/año (bajo este marco geodinámico la FAM se comporta como una falla de desgarre con cierta componente inversa). Según datos geodésicos recientes, la tasa de movimiento actual FAM es del orden de  $1,5 \pm 0,3$  mm/a (Echeverría et al., 2013). Asimismo, los últimos análisis de saltos de falla que afectan a los canales del abanico de El Saltador, próximo a la zona aquí estudiada, aportan una tasa de

deslizamiento geológica media durante el Cuaternario de 0,9 mm/a (Ferrater et al., 2016).

## Estructura Local

De los segmentos que forman la FAM, el de Lorca-Totana es, sin duda, el más estudiado y a la vez el que mayor incertidumbre presenta en su estructura. Se caracteriza por presentar al menos dos ramas paralelas con buzamientos opuestos (Fig.1b), la FAM-sur que buza hacia el SE y presenta una traza bastante lineal con dirección N65° y la FAM-norte con buzamientos hacia el NO y una traza irregular de dirección variable entre N45° y N55°. Así mismo, en algunos puntos aflora otra rama más al sureste (FAM-frontal) de buzamiento NO y que limita los relieves de materiales Messinienses y Pliocenos del valle del Guadalestín.

La FAM-norte se introduce bajo la antiforma de la sierra de la Tercia y ha controlado su crecimiento desde el Mioceno Superior. Los abanicos aluviales procedentes de la erosión de la sierra de la Tercia se depositan sobre la FAM-sur. Entre ambas ramas de la FAM se ha generado una depresión en la que se acumulan potentes depósitos Cuaternarios controlados por la actividad de la falla. Persiste la duda de si la FAM-sur de Lorca es una estructura diferenciada de la norte o, por el contrario, se trata de una falla antitética de acomodación de una estructura de buzamiento norte. En todo caso, las deformaciones paleosísmicas observadas en la rama sur aportan una información valiosa sobre el potencial sismogénico de la falla, considerando siempre que se trata de valores parciales de la deformación total de la FAM que aparece distribuida en varias ramas.

## ANÁLISIS PALEOSÍSMICO

Hemos realizado el estudio paleosísmico de dos trincheras excavadas en el abanico de La Salud (Fig. 2). Se trata de un abanico activo durante el Pleistoceno Superior que hoy aparece parcialmente desmantelado por la erosión y fuertemente disectado por la Rambla de La Salud. El abanico está formado por una alternancia de depósitos de flujos detríticos, flujos laminares y coladas de barro y en los cortes del encajamiento de la rambla se aprecian espesores de gravas y limos de más de 15 m. Los últimos depósitos del abanico anteriores al encajamiento del canal de alimentación que han sido datados tienen una edad de ~26-30 ka BP (ver más abajo).

## Trincheras de La Salud

La trinchera La Salud 1 fue excavada perpendicularmente a la falla con una dirección N158° y unos 28 metros de largo. La trinchera corta una sucesión de niveles de depósitos de abanico aluvial compuesto por al menos 5 eventos de sedimentación de flujos masivos (unidades H a D3, Fig.2c) que son generalmente depósitos de grano grueso,

heterométricos y matriz-soportados (depósitos de flujos detríticos) y flujos acuosos saturados de materiales finos a techo (depósitos de coladas de barro). Por encima aparece una unidad de gravas homométricas y clasto-soportadas con muy poca matriz (unidad D, Fig.2c) de flujos laminares (flujos laminares). Posteriormente, se observan depósitos finos y gravas fluviales (unidades C y C1) erosionadas por canales paralelos a la falla (unidad B). Además, se identifican evidencias de edafización en las coladas de barro indicando periodos de estabilidad.

En la trinchera observamos el plano de falla buzando 30° hacia el sur y afectando claramente a las unidades de H a D3 y produciendo un ligero pliegue de arrastre en las unidades que se encuentran por encima. La flexión de los materiales debido a dicho plegamiento genera una elevación de los depósitos del abanico en el bloque de techo y la subsecuente erosión de las capas finas de cada evento de deposición. La sedimentación del siguiente pulso del abanico deja una discordancia entre las capas de flujos detríticos y coladas de barro. Estas superficies erosivas y las posteriores discordancias indicarían pulsos de crecimiento del pliegue.

Del análisis tectono-sedimentario de la trinchera podemos definir un mínimo de 3 y un máximo de 6

eventos paleosísmicos. Si consideramos únicamente la acumulación de salto de falla a lo largo del plano de falla, identificamos tres eventos paleosísmicos X, Y y Z (Fig.2c). Se han podido datar tres muestras de limos a distintos niveles de profundidad mediante el método OSL (Tabla 1).

N	P. (m)	H(%)	D-R(Gy/ka)	D-E (Gy)	Edad(ka)
MS-7	1.0	5±2	3,0±0,1	33,7±1,6	11,1±0,6
MS-4	1.5	5±2	2,7±0,1	76,4±5,0	28,2±2,0
MS-5	3.5	5±2	2,8±0,1	88,4±5,1	31,2±2,0

TABLA I. Dataciones realizadas mediante termoluminiscencia de los materiales de la trinchera de La Salud 1. N: Numero de muestra; P: Profundidad; D-R: Dosis Rate; D-E Dosis Equivalente.

El evento X es post-G y pre-D3 y tiene una edad inferior a  $31,2 \pm 2$  ka y mayor a  $28,2 \pm 2$  ka. El evento Y es posterior a la unidad D3 y previo a la C. Este evento lo identificamos porque la unidad D está superpuesta sobre las anteriores de manera discordante. El pliegue que se observa en las unidades más antiguas (anteriores a D) es mayor que el que presenta la unidad D, lo que nos indica, al menos dos fases de deformación. Para este evento la edad está peor constreñida y debe ser posterior a  $31,2 \pm 2$  ka y anterior a  $11,1 \pm 0,6$  ka.

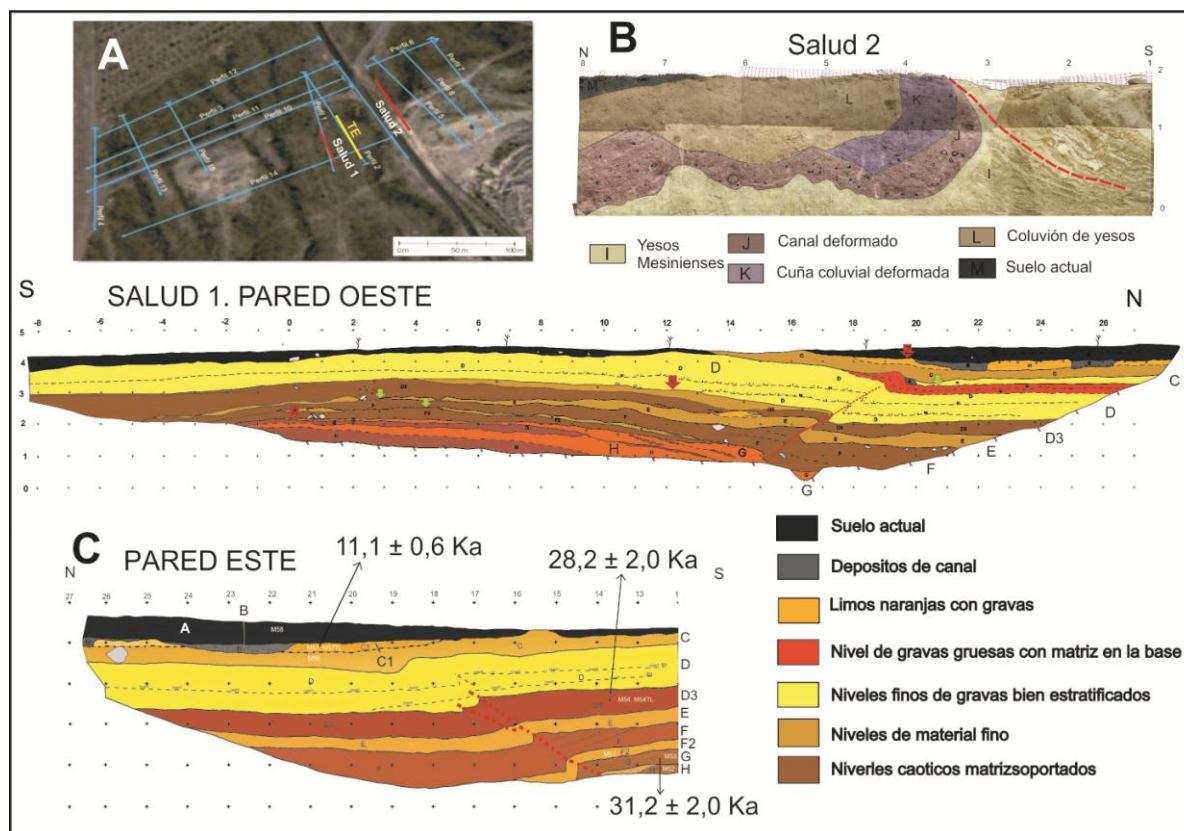


FIGURA 2. A: Fotografía aérea de la zona de estudio en la que se muestran los perfiles de GPR (azules), tomografía eléctrica (amarillo) y las dos trincheras (rojo). B: fotografía de la trinchera de La Salud 2 con la interpretación de la estructura. C: muestra los registros tectono-sedimentarios observados en las dos paredes de la trinchera La Salud 1. Las flechas rojas señalan la base de la primera unidad depositada tras cada uno de los 3 eventos definidos (x, y, z). Las verdes muestras discordancias erosivas que podrían evidenciar pulsos de crecimiento del pliegue y levantamiento del bloque de techo asociados a eventos adicionales.

El tercer evento identificado en la trinchera es el Z. Este evento puede ser posterior a la deposición del canal (unidad B) si consideramos que la ligera inclinación de su base es producida por la falla. Como no tenemos una datación para el canal, solo podemos indicar que el evento Z es posterior a  $11,1 \pm 0,6$  ka (edad de la unidad C1).

Teniendo en cuenta la baja cohesión de los materiales afectados por la falla y que parte importante del salto de falla se absorbe en forma de plegamiento de las capas, creemos más adecuado interpretar las discordancias angulares como el resultado de pulsos de crecimiento del pliegue generados por sismos en la falla. Usando esta aproximación se proponen un mínimo de 6 eventos paleosísmicos ocurridos en los últimos 31 Ka (Fig. 2c).

La trinchera La Salud 2 tiene una dirección de N158° y una longitud de 30 metros. En sus paredes podemos observar yesos Messinienses muy deformados y depósitos de canal claramente basculados hacia el NW (Fig.2b). La existencia de los yesos hace que la mayor parte de la deformación producida por la falla se absorba en una banda con deformación interna, venas de cizalla rellenas de yeso fibroso y pliegues menores de cizalla. Toda esta deformación interna genera el levantamiento del bloque de yesos que se observa en la cartografía, de modo que no llega a cortar los niveles de depósitos aluviales. Este hecho y la ausencia de materiales Cuaternarios en el bloque de techo dificultan la identificación de eventos paleosísmicos en esta trinchera.

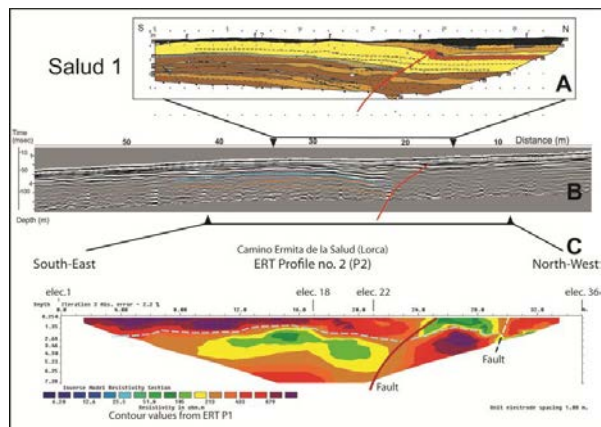


FIGURA 3. A: Pared O de la trinchera Salud 1. B: Perfil GPR. C: Perfil de tomografía Eléctrica. En los perfiles geofísicos se proyecta la geometría de la falla observada en la trinchera así como la línea que separa los depósitos de flujos detríticos de los laminares (línea azul).

## PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Con el objetivo de estudiar la estructura a mayor profundidad se ha realizado un perfil de tomografía eléctrica y 15 perfiles de GPR (Fig.2a). Se han utilizado aquellos perpendiculares a la traza de la falla que han aportado información de la estructura con

detalle hasta más de 7 m de profundidad. En el perfil de tomografía eléctrica se aprecia claramente la geometría del pliegue de arrastre dibujado en la distribución de resistividades. Se observa también que dicho pliegue va ganado amplitud en profundidad, como cabe esperar de una mayor acumulación de eventos de saltos paleosísmicos (Fig.3). En la base de este perfil las capas de baja resistividad tienen una ligera flexión según se acercan a la falla. Los reflectores del perfil de Georradar nos marcan la misma posición del plano de falla y también la flexión de las capas. Estos métodos de prospección son por tanto muy útiles para extrapolar observaciones en profundidad y explorar otras transversales de la falla donde la excavación de trincheras no es posible.

## CONCLUSIONES

Bajo los depósitos del abanico de La Salud se define, de forma precisa, la posición de la FAM-sur, que induce la fracturación y el plegamiento de los materiales del bloque de techo con amplitud creciente en profundidad. Hemos podido determinar la ocurrencia de al menos tres eventos paleosísmicos con ruptura superficial y hasta seis en los últimos ~31 ka.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación es parte del proyecto INTERGEO proyecto: CGL2013-47412-C2-1-P. Agradecemos a D. Julio Mellado por las facilidades dadas para la realización de este estudio en su propiedad.

## REFERENCIAS

- Echeverría, A., Khazaradze, G., Asensio, E., Gárate, J., Martín Dávila, J., y Suriñach, E. (2013): Crustal deformation in eastern Betics from CuaTeNeo GPS network. *Tectonophysics*, 608: 600–612.
- Ferrater, M., Echeverría, A., Masana, E., Martínez-Díaz, J.J., y Sharp, W.D. (2016): A 3D measurement of the offset in paleoseismological studies. *Computers & Geosciences*, 90: 156-163.
- Lopez-Comino, J.A., Mancilla, F., Morales J. y Stich, D. (2012): Rupture directivity of the 2011, Mw 5.2 Lorca earthquake (Spain). *Geophysical Research Letters* 39, L03301.
- Martínez-Díaz, J.J., Masana, E., y Ortuño, M. (2012): Active tectonics of the Alhama de Murcia fault, Betic Cordillera, Spain. *Journal of Iberian Geology*, 38: 253–270.
- Ortuño, M., Masana, E., García-Meléndez, E., Martínez-Díaz, J.J., Stepankikova, P., Cunha, P., Sohbati, R., Canora, C., Buylaert, J.P. y Murray, A-S. (2012): An exceptionally long paleoseismic record of a slow-moving fault: the Alhama de Murcia fault (Eastern Betic Shear Zone, Spain). *Geological Society of America Bulletin*, 124: 1474–1494.