



REVELANDO LA GEOMETRÍA EN PROFUNDIDAD DE LAS FALLAS ACTIVAS QUE LIMITAN EL VALLE DEL GUADALENTÍN MEDIANTE SÍSMICA DE REFLEXIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN: RESULTADOS PRELIMINARES

Revealing the depth geometry of the active faults bounding the Guadalentín Valley through high-resolution seismic reflection: preliminary results

H. Perea^{1,2}, P. Herrero-Barbero¹, J. Molins-Vigatà^{1,4}, J. Alcalde³, J.A. Álvarez Gómez¹, M. Berrío Lopez Llamosas¹, R. Carbonell³, Y. de Pro Díaz¹, D. Dufour⁴, J. García-Mayordomo⁵, J.L. Granja Bruña¹, J.M. Insua-Arévalo¹, D. Martí³, R. Martín-Banda⁵, E. Masana⁴, M. Ollé⁴, E. Pascual Sánchez¹, J.J. Portela⁶, J.S. Rivera Rivera⁶, J.L. Sánchez Roldán¹, A. Staller⁶, S. Rameez⁴

¹ Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid, Spain. hperea01@ucm.es

² Institut de Ciències del Mar, CSIC, 08003 Barcelona, Spain. h.perea@icm.csic.es

³ Geociencias Barcelona (GEO3BCN), CSIC, 08028 Barcelona, Spain

⁴ RISKMAT, GEOMODELS, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona, Spain

⁵ Instituto Geológico y Minero de España, CSIC, 28760 Tres Cantos, Spain

⁶ ETSI Topografía, Geodesia y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid, 28031 Madrid, Spain

Resumen: Para producir evaluaciones del peligro sísmico actualizadas al estado del arte actual, es esencial caracterizar las fallas activas de una región en términos de geometría, interrelación y estado sismotectónico. La depresión del Guadalentín es la principal cuenca cuaternaria dentro de la Zona de Cizalla de las Béticas Orientales, la cual corresponde a un corredor tectónico con dirección NE-SW delimitado por las fallas de Carrascoy, Alhama de Murcia y Palomares, de norte a sur. Aunque varios estudios de tectónica activa y paleosismología se han centrado en estas fallas, su geometría en profundidad es bastante incierta. Para revelar la estructura profunda, la geometría y el historial de deformación desde el Neógeno superior de estas fallas, hemos llevado a cabo un estudio de sísmica de reflexión de alta resolución. Los perfiles sísmicos adquiridos permitirán mejorar nuestra comprensión de la geometría profunda de las fallas activas conocidas (hasta 2 km de profundidad), así como identificar posibles ramas ciegas, y ayudarán a reducir las incertidumbres en los cálculos de peligrosidad sísmica.

Palabras clave: Fallas activas, sísmica de reflexión, geometría profunda de fallas, Zona de Cizalla de las Béticas Orientales.

Abstract: To produce seismic hazard assessments to the current state-of-the-art, it is essential to characterize the active faults in terms of geometry, interrelation and seismotectonic status. The Guadalentín Depression is the main basin within the Eastern Betic Shear Zone, which corresponds to a NE-SW tectonic corridor bounded by the Carrascoy, Alhama de Murcia and Palomares faults, from north to south. Although a number of active tectonics and paleoseismological studies have been carried out in these faults, almost nothing is known about their geometry at depth. To unveil the deep structure, geometry and upper Neogene deformation history of these faults we have carried out a high-resolution seismic reflection survey. The acquired seismic profiles will allow to improve our understanding of the deep geometry of the known active faults (up to 2 km depth), as well as to identify potential buried branches and will help to reduce the uncertainties in seismic hazard assessment.

Key words: Active faults, seismic reflection, fault depth geometry, Eastern Betics Shear Zone.

Introducción

La amenaza sísmica de un territorio está fuertemente controlada por la presencia de fallas activas y su grado de actividad. Para realizar una evaluación moderna de la peligrosidad sísmica es esencial caracterizar de la forma más precisa posible estas fallas, particularmente en términos de su geometría, interrelación y estado sismotectónico.

La deformación actual de la corteza en el sureste de la Península Ibérica está impulsada principalmente por la convergencia NW-SE (4-5 mm/año) entre África e Iberia (Palano *et al.*, 2015). Esta convergencia se acomoda parcialmente sobre una amplia zona de deformación con importante actividad sísmica (Buforn *et al.*, 1995; Stich *et al.*, 2006). Algunas de las principales fallas activas en este área están relacionadas con un gran sistema de fallas, con deslizamiento lateral izquierdo y con geometría sigmoidal, denominado Zona de Cizalla Bética

Oriental (ZCBO) (Sanz de Galdeano, 1990). Este sistema de fallas se extiende a lo largo de más de 450 km desde Alicante hasta el sur de Almería. Dentro de la ZCBO se encuentra la depresión del Guadalentín, una cuenca con dirección NE-SW controlada tectónicamente por las fallas de Carrascoy, Alhama de Murcia y Palomares, de norte a sur (Fig. 1) (Silva *et al.*, 1993). En varias de estas fallas ya se han realizado estudios de paleosismología que han permitido caracterizar los terremotos que estas podrían generar (Ferrater *et al.*, 2017; Martín-Banda *et al.*, 2021). Por el contrario, únicamente se tiene un conocimiento de la geometría en profundidad en el caso de la terminación NE de la falla de Alhama de Murcia (Herrero-Barbero *et al.*, 2020), para el resto de las fallas del sistema se desconoce. Establecer esta geometría es un dato fundamental para poder reducir la incertidumbre en los estudios de peligrosidad sísmica.

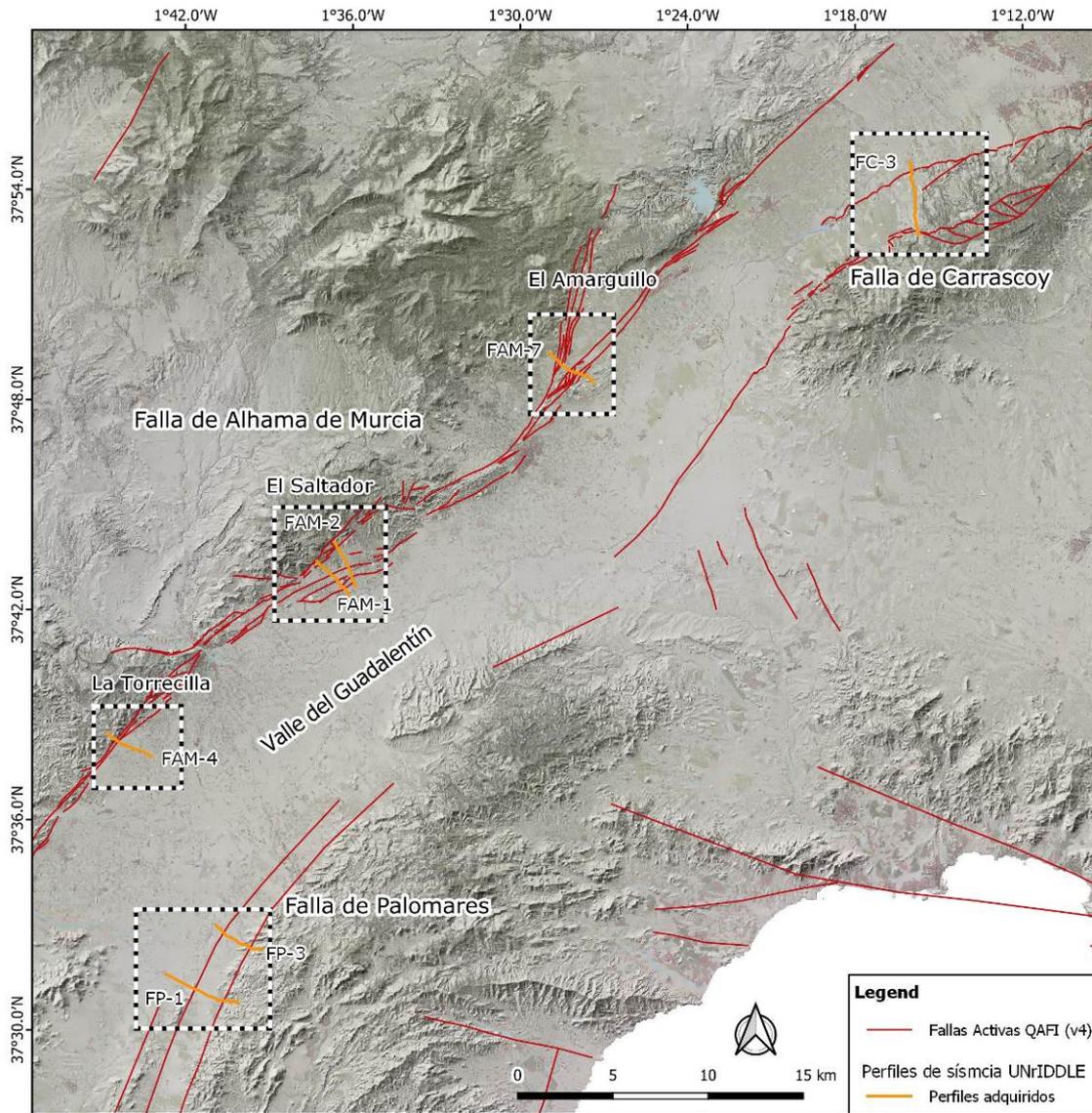


Fig. 1.- Mapa del Valle del Guadalestín con la localización de las fallas activas en la zona (base de datos QAFI v4; IGME, 2022) y de los perfiles de sísmica de alta resolución programados y adquiridos durante la campaña sísmica UNRIDDLE (Tabla 1).
Fig. 1.- Map of the Guadalestín Valley with the localization of the QAFI v4 active faults (IGME, 2022) and of the high-resolution seismic profiles programed and acquired during the UNRIDDLE seismic survey (Table 1).

Con el objetivo de mejorar el conocimiento actual sobre la geometría en profundidad de las diferentes fallas que bordean la depresión del Guadalestín se llevó a cabo una campaña de sísmica de reflexión de alta-resolución en el marco del proyecto UNRIDDLE, realizada en mayo del 2022 en los términos municipales de Lorca, Alhama de Murcia y Murcia (Fig. 1 y Tabla 1).

Metodología y parámetros de adquisición

La adquisición de perfiles de sísmica de reflexión nos permite obtener imágenes de las unidades y estructuras geológicas situadas en profundidad. En este estudio nos hemos focalizado en realizar una exploración de poca profundidad (1-2 km) y buscando una alta resolución espacial, tanto vertical como horizontal.

Como fuente de energía sísmica se utilizó un vehículo vibrador o vibroseis Envirovibe-Minibuggy modelo 290 de 8 toneladas (Fig. 2a). Estos vehículos están equipados con un sistema hidráulico que

permite realizar vibraciones débiles que generan un tren de ondas sísmicas controlado, transmitiendo al terreno una señal continua que contiene un rango de frecuencias determinado. Para obtener un registro de alta resolución, los puntos de vibración estaban separados 5 m y en cada uno de ellos se generaron tres barridos (*sweeps*) de 15 s de duración con un contenido de frecuencias entre 10 a 150 Hz de forma progresiva y con un tiempo de escucha entre barridos de 5 s.

Para el registro de la señal sísmica se utilizaron unidades inalámbricas formadas por un cajetín de registro o UNITE y un geófono conectado al UNITE (Fig. 2b). Durante el experimento distribuimos las unidades de registro cada 10 m a lo largo de los perfiles. Esto implicó el despliegue de entre 100 y 450 unidades de registro al mismo tiempo dependiendo de la longitud del perfil (Tabla 1).

Tanto los puntos de disparo como los sensores de registro se han posicionado de forma redundante mediante el sistema GPS integrado en la instrumentación (camión vibrador y cajetines de

registro) y mediante un GPS diferencial. Con lo cual se ha podido realizar un control de calidad en el posicionamiento obteniendo una precisión centimétrica.

a)



b)



Fig. 2.- Fotografías del vibroseis Envirovibe-Minibuggy modelo 290 de 8 toneladas (a) y de las unidades de registro inalámbricas UNITE (b).

Fig. 2.- Photographs of the vibroseis Envirovibe-Minibuggy model 290 8 ton (a) and of the UNITE wireless recording units (b).

Resultados de la campaña y conclusiones

A lo largo de 20 días de adquisición sísmica se obtuvieron 7 perfiles de sísmica de reflexión de alta resolución (Fig. 1 y Tabla 1). Dos de estos perfiles se localizan atravesando la falla de Palomares (FP1 y FP3). Cruzando la falla de Alhama de Murcia se adquirieron cuatro perfiles, uno en la zona de la Torrecilla (FAM4), dos en la zona de El Saltador (FAM1 y FAM2) y otro en la zona de El Amarguillo (FAM5). Finalmente, se adquirió un perfil a través de la falla de Carrascoy (FC3).

En la Figura 3 se muestra un ejemplo del registro bruto de un disparo a offset completo una vez eliminado el efecto de la fuente sísmica. El registro muestra una buena relación señal/ruido donde se pueden reconocer las primeras llegadas hasta a cada lado del punto de disparo

Los datos adquiridos van a permitir desvelar la estructura profunda (hasta 1 o 2 km), la geometría y la

historia de deformación del Neógeno superior, con énfasis en el Cuaternario superior, de las fallas de Carrascoy, Alhama de Murcia y Palomares.

Zona de falla	Longitud del perfil (m)
Falla de Palomares	
FP1	4088
FP3	2685
Longitud total	10444
Falla de Alhama de Murcia	
FAM1 (El Saltador)	2413
FAM2 (El Saltador)	2623
FAM4 (La Torrecilla)	2525
FAM7	2637
Longitud total	15393
Falla de Carrascoy	
FC3	3901
Longitud total	13681

Tabla 1.- Identificación de los perfiles de sísmica de reflexión de alta resolución adquiridos a través de las diferentes fallas activas estudiadas, indicando su longitud, así como la longitud total de perfiles.

Table 1.- Identification of the high-resolution seismic reflection profiles acquired across the different studied active faults, indicating their length and the total length.

Agradecimientos

Queremos agradecer la colaboración de los ayuntamientos de Lorca, Alhama de Murcia y Murcia, y muy especialmente de Emergencias Lorca que nos facilitó sus instalaciones como base de trabajo. También queremos agradecer el permiso de EARMUR para poder adquirir un perfil en sus terrenos y a Dinamo Instalaciones por su asistencia en los trabajos de campo. Hector Perea es un investigador postdoctoral del programa "Atracción de Talento" en la Universidad Complutense de Madrid financiado por la Comunidad de Madrid (2018-T1/AMB-11039). Paula Herrero y Júlia Molins han estado contratadas por el proyecto UNrIDDLE (2018-T1/AMB-11039). Juan Alcalde ha recibido financiación de las ayudas IJC2018-036074-I financiadas por MCIN/AEI/10.13039/501100011033.

Referencias

- Buform, E., Sanz de Galdeano, C., Udías, A., 1995. Seismotectonics of the Ibero-Maghrebian region. *Tectonophysics*, 248: 247–261.
- Ferrater, M., Ortuño, M., Masana, E., Martínez-Díaz, J.J., Pallàs, R., Perea, H., Baize, S., García-Meléndez, E., Echeverría, A., Rockwell, T., Sharp, W.D., Arrowsmith, R., 2017. Lateral slip rate of Alhama de Murcia fault (SE Iberian Peninsula) based on a morphotectonic analysis: Comparison with paleoseismological data. *Quaternary International*, 451: 87–100.
- Herrero-Barbero, P., Álvarez-Gómez, J.A., Martínez-Díaz, J.J., Klimowitz, J., 2020. Neogene basin inversion and recent slip rate distribution of the northern termination of the Alhama de Murcia Fault (Eastern Betic Shear Zone, SE Spain). *Tectonics*, 39(7), e2019TC005750.

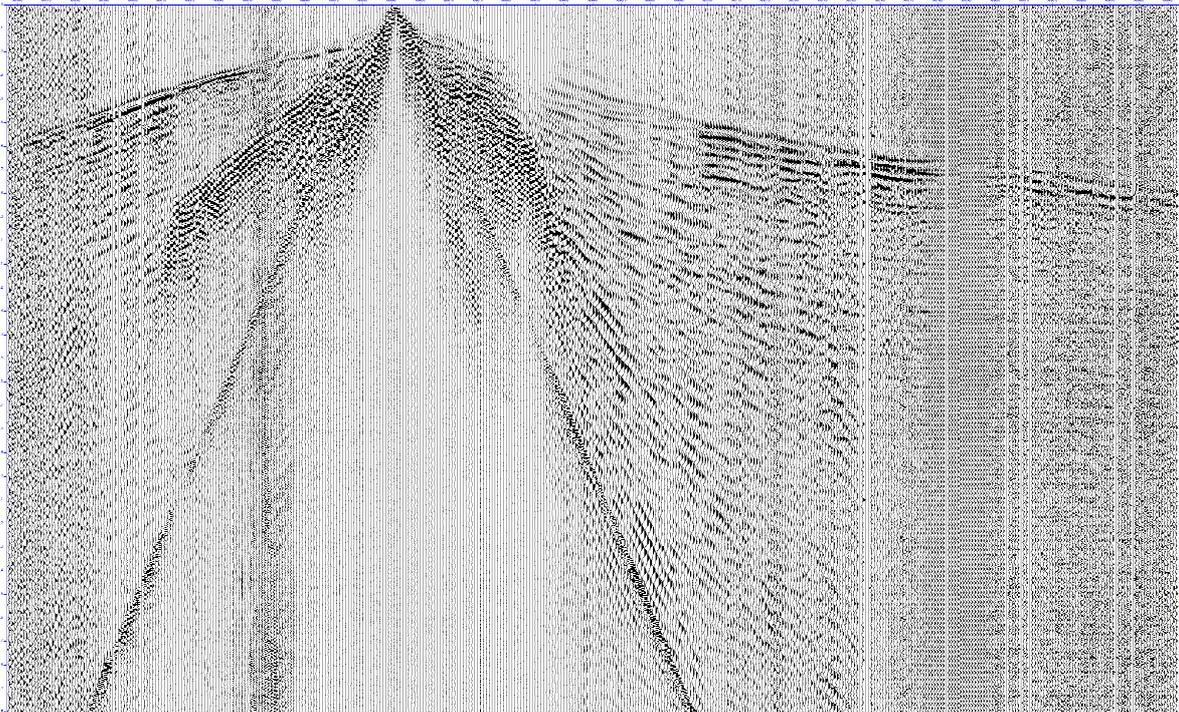


Fig. 3.- Registro sísmico registro bruto de un disparo a offset completo del perfil FP1 (ver Fig. 1 y Tabla 1) una vez eliminado el efecto de la fuente sísmica. El registro se corta a 3 s de tiempo doble.

Fig. 3.- Raw seismic record of a shot at full offset corresponding to profile FP1 (see Fig. 1 and Table 1) once the effect of the seismic source has been removed. The record is cut to 3 s of double time.

IGME (2022) QAFI: Quaternary Active Faults Database of Iberia. Accessed May 2022, from IGME web site: <https://info.igme.es/QAFI>

Martín-Banda, R., Insua-Arévalo, J. M., García-Mayordomo, J., 2021. Slip Rate Variation During the Last ~210 ka on a Slow Fault in a Transpressive Regime: The Carrascoy Fault (Eastern Betic Shear Zone, SE Spain). *Frontiers in Earth Science*, 8: 1–21.

Palano, M., González, P. J., Fernández, J., 2015. The Diffuse Plate boundary of Nubia and Iberia in the Western Mediterranean: Crustal deformation evidence for viscous coupling and fragmented lithosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, 430: 439–447.

Sanz de Galdeano, C. (1990). Geologic evolution of the Betic Cordilleras in the Western Mediterranean, Miocene to the present. *Tectonophysics*, 172(1–2): 107–119.

Silva, P.G., Goy, J.L., Somoza, L., Zazo, C., Bardají, T., 1993. Landscape response to strike-slip faulting linked to collisional settings: Quaternary tectonics and basin formation in the Eastern Betics, southeast Spain. *Tectonophysics*, 224: 289–303.

Stich, D., Serpelloni, E., de Lis Mancilla, F., Morales, J. (2006). Kinematics of the Iberia–Maghreb plate contact from seismic moment tensors and GPS observations. *Tectonophysics*, 426(3–4): 295–317.