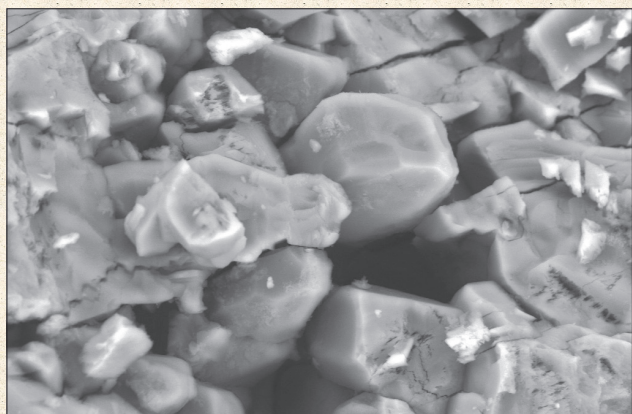


LA GEOLOGÍA ES NOTICIA



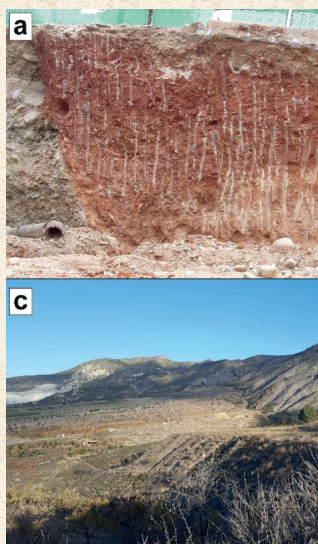
Ermeloíta. Un nuevo mineral para la ciencia

Oscar Lantes-Suárez, G. Z. Vérez
y Inés Fernández Cejeiro

(p. 72)

El terremoto catastrófico del 8 de septiembre de 2023 (6.8 Mw) en la Cordillera del Atlas (Marruecos)

Jesús Galindo-Zaldívar, Víctor Tendoro-Salmerón
y Lourdes González-Castillo (p. 76)



La cuenca de Granada: una de las zonas de mayor peligrosidad sísmica de España ¿Por qué se producen terremotos?

Raquel Vinardell-Peña, Asier Madarieta-Txurruka, Antonio J. Gil
y Jesús Galindo-Zaldívar

(p. 79)

La cuenca de Granada: una de las zonas de mayor peligrosidad sísmica de España ¿Por qué se producen terremotos?

RAQUEL VINARDELL-PEÑA¹, ASIER MADARIETA-TXURRUKA², ANTONIO J. GIL^{1,3} Y JESÚS GALINDO-ZALDIVAR^{4,5}.

¹ Departamento Ing. Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén, 23071 Jaén. ajgil@ujaen.es

² Grupo Procesos Hidro-Ambientales, Departamento de Geología, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, 48940 Leioa, Spain. asier.madarieta@ehu.es

³ Centro de Estudios Avanzados en Ciencias de la Tierra, Energía y Medio Ambiente (CEACTEMA),

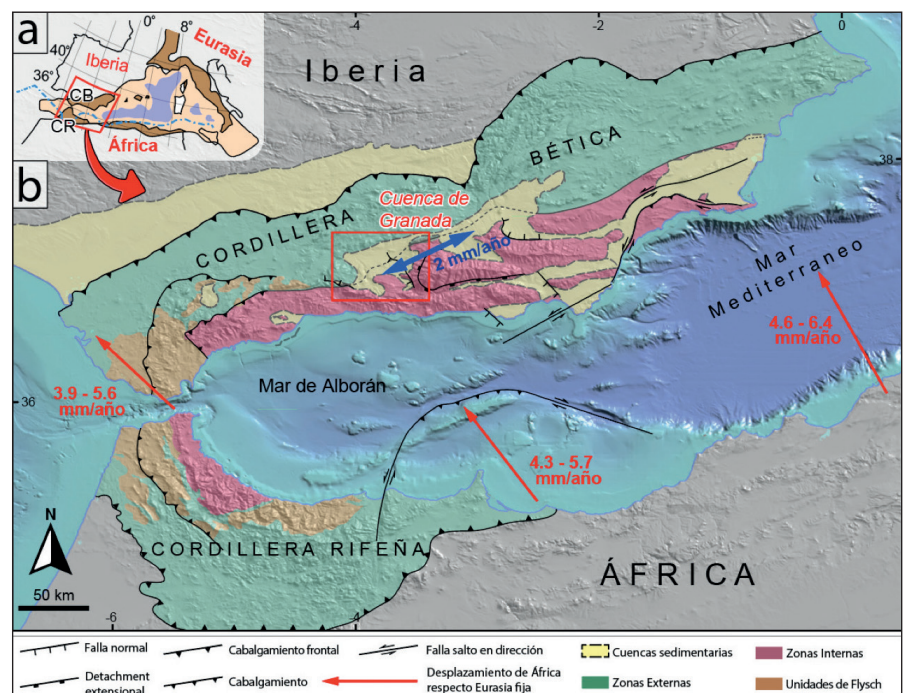
Universidad de Jaén, 23071 Jaén.

⁴ Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada, 18071 Granada. jgalindo@ugr.es

⁵ Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (Universidad de Granada), 18071 Granada..

lisión lenta pero constante entre estas placas ha dado forma a su relieve y es la causa de los terremotos que ocurren en la región. Actualmente,

estas placas se aproximan unos 4-6 milímetros al año (Billi et al., 2023). En este contexto de convergencia de placas, en su sector central, se



La Cordillera Bética, al sur de España, es una zona montañosa situada en el límite entre las placas de Europa y África (Nubia) (Figura 1). A lo largo de millones de años, la co-

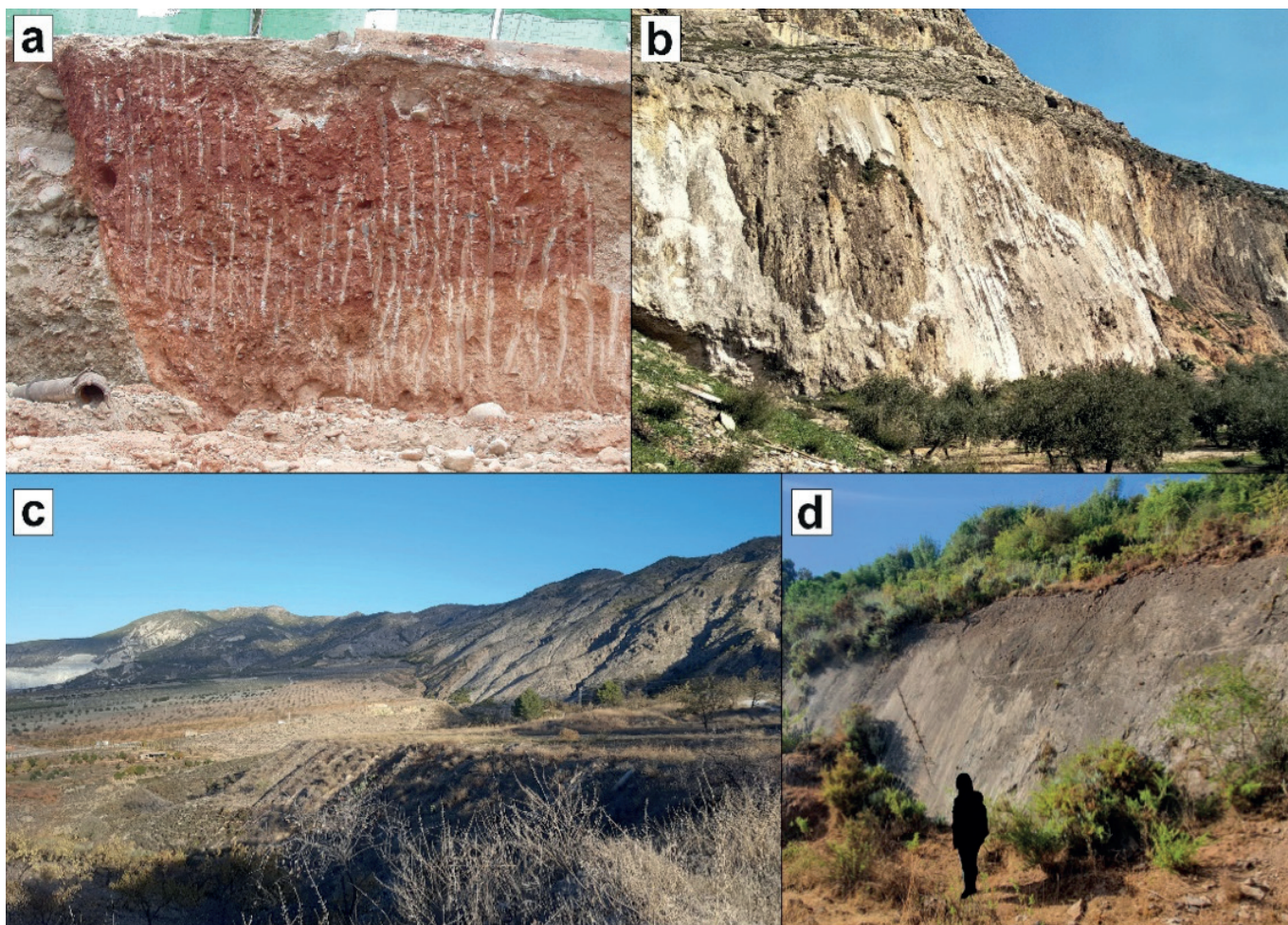


Fig. 2. Fotografías de algunas de las principales fallas normales activas de la Cuenca de Granada. a) Falla de Granada junto al Río Genil en la ciudad de Granada. b) Plano de la Falla de Tajo Colorado, Sierra Elvira. c) Frente montañoso formado por la falla de Padul. d) Plano de la Falla de Ventas de Zafarraya.

está produciendo actualmente extensión (Figura 1) que está siendo acomodada por fallas normales activas (Figura 2).

La Cuenca de Granada (Figura 1) es una de las zonas con mayor actividad tectónica de la Península Ibérica. Las fallas normales de distintas direcciones muestran que el terreno sigue deformándose lentamente (Figuras 2 y 3) (Madarieta-Txurruka et al., 2021). En la parte oriental destacan las fallas de Padul, Granada y Sierra Elvira (Sanz de Galdeano et al., 2003). Por otro lado, localizada al SO de la Cuenca de Granada, destaca la Falla de Ventas de Zafarraya (Reicherter et al., 2003). Es una falla normal cuya longitud total, de acuerdo con observaciones de campo, supera los 15 km. Esta falla se ha relacionado con el terremoto de Andalucía de

1884, uno de los terremotos históricos más importantes de la Península Ibérica.

La actividad de las fallas, preferentemente localizadas en los bordes nororiental, oriental y suroccidental de la Cuenca de Granada (Figura 2), se analiza mediante redes geodésicas desplegadas por la Universidad de Jaén en colaboración con otras instituciones (Gil et al., 2002, 2017; Madarieta-Txurruka et al., 2024). Los resultados obtenidos y el análisis multidisciplinar han permitido caracterizar hasta el momento su actividad y mejorar su conocimiento.

La parte oriental de la Cuenca de Granada, cerca de Sierra Nevada (Figura 3a), se está estirando lentamente en dirección suroeste-noreste, con una velocidad de hasta 1,3 mm al año, según datos recientes

(Martín-Rojas et al., 2023). Este estiramiento se está acomodando a través de un sistema de fallas normales de alto y bajo ángulo que determinan la estructura de la cuenca. La mayor parte de la sismicidad está caracterizada por la ocurrencia de terremotos de pequeña magnitud ($M_w < 3.0$) cuya magnitud máxima no suele superar $M_w \approx 5$, aunque han producido en ocasiones víctimas mortales (terremoto de Atarfe-Albolote del 19 de abril de 1956). También se han producido varias series y enjambres sísmicos con terremotos. Las secuencias sísmicas han sido documentadas a lo largo de la historia reciente, la última ocurrió durante el año 2021 (Madarieta-Txurruka et al., 2022). Esta secuencia fue perceptible en el área metropolitana de la ciudad de Granada.

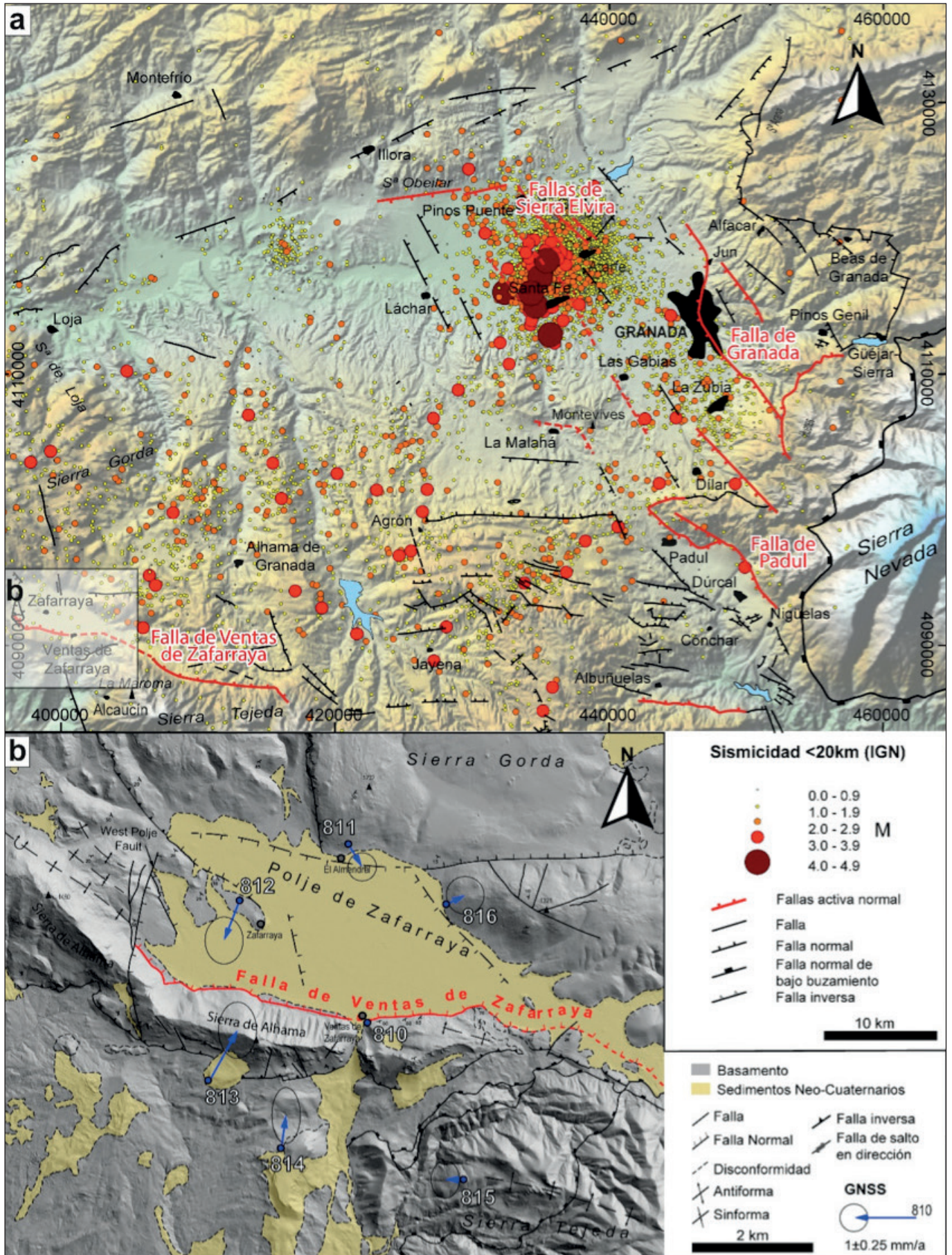


Fig. 3. Actividad tectónica en la Cuenca de Granada. a) Fallas activas y sismicidad instrumental en la Cuenca de Granada. b) Red GNSS de monitorización de la Falla de Ventas de Zafarraya.

Por otro lado, los datos geodésicos (Madarieta-Txurruka et al., 2024) sugieren que la parte occidental de la cuenca, donde está situada la falla de Ventas de Zafarraya, se está acortando hasta 2 mm al año (Figura 3b), lo que provoca la formación de grandes pliegues y fallas ocultas. La actividad extensional de la Falla Normal de Ventas de Zafarraya en esta región bajo acortamiento representa una anomalía.

La sismicidad de la Cuenca de Granada la convierte en una de las regiones con mayor peligrosidad sísmica de la Península. No obstante, la liberación progresiva de la energía acumulada limita la magnitud máxima de los terremotos. Esta actividad recurrente, generalmente localizada en la parte septentrional de la cuenca, se ca-

racteriza por ser moderada a baja, con magnitudes máximas recientes que no suelen superar Mw 4,5-5,0. La elevada fracturación limita el potencial sismogénico y relaja la deformación en fallas de trazado corto, con series tanto de terremoto principal y réplicas como de enjambres (Madarieta-Txurruka et al., 2022). Sin embargo, en la parte sudoccidental de la Cuenca de Granada la falla normal de Ventas de Zafarraya (Reicherter et al., 2003) y su posible conexión en profundidad con fallas inversas (Madarieta-Txurruka et al., 2024), están relacionadas con el Terremoto de Andalucía de 1884, que ha sido hasta la fecha la mayor liberación de energía histórica con poder destructivo.

Las medidas geodésicas y observaciones geológicas pueden ayudar

a caracterizar la peligrosidad de la parte sudoccidental de la Cuenca de Granada. La construcción de acuerdo con las normas sismorresistentes que tienen en cuenta la magnitud máxima de los terremotos que pueden ocurrir, junto con la concienciación de la población permiten disminuir la vulnerabilidad de la región y mitigar los efectos de la sismicidad que ocurrirá en el futuro.

Agradecimientos: Grupos RNM 148 y RNM 282 (Junta de Andalucía). Proyecto BARACA (PID2022-136678NB-I00 financiado por MICIU/AEI 10.13039/501100011033 y FEDER, UE. A. M.-T. está respaldado por el contrato postdoctoral financiado por el Gobierno Vasco (POS_2023_1_0001).

Bibliografía

Billi, A., Cuffaro, M., Orecchio, B., Palano, M., Presti, D. y Totaro, C. (2023). Retracing the Africa–Eurasia nascent convergent boundary in the Western Mediterranean based on earthquake and GNSS data. *Earth and Planetary Science Letters*, 601, 117906.

Gil, A. J., Galindo-Zaldívar, J., Sanz de Galdeano, C., Borque, M.J., Sánchez-Alzola, A., Martínez-Martos, M. y Alfaro, P. (2017). The Padul normal fault activity constrained by GPS data: Brittle extension orthogonal to folding in the central Betic Cordillera. *Tectonophysics*, 712, 64-71.

Gil, A. J., Rodríguez-Caderot, G., Lacy, M.C., Ruiz, A.M., Sanz de Galdeano, C. y Alfaro, P. (2002). Establishment of a non-permanent GPS network to monitor the recent NE-SW deformation in the Granada Basin (Betic Cordillera, Southern Spain). *Studia Geophysica et Geodaetica*, 46, 395-410.

Madarieta-Txurruka, A., Galindo-Zaldívar, J., González-Castillo, L., Peláez, J.A., Ruiz-Armenteros, A.M., Henares, J., Garrido-Carretero, M.S., Avilés, M. y Gil, A.J. (2021). High-and low-angle normal fault activity in a collisional orogen: The Northeastern Granada Basin (Betic Cordillera). *Tectonics*, 40(7), e2021TC006715.

Madarieta-Txurruka, A., González-Castillo, L., Peláez, J.A., Catalán, M., Henares, J., Gil, A.J., Lamas-Fernández, F. y Galindo-Zaldívar, J. (2022). The role of faults as barriers in confined seismic sequences: 2021 seismicity in the Granada Basin (Betic Cordillera). *Tectonics*, 41(9), e2022TC007481.

Madarieta-Txurruka, A., González-Castillo, L., Peláez, J. A., Galindo-Zaldívar, J., Borque, M.J., Lacy, M.C., Ruiz-Armenteros, A.M., Henares, J., Ruano, P., Sánchez-Alzola, A., Avilés, M., Rodríguez-Caderot, G., Martínez-Moreno, F.J., Tendero-Salmerón, V., Vinardell-Peña, R. y Gil, A.J. (2024). Active shortening simultaneous to normal faulting based on GNSS, geophysical, and geological data: The seismogenic Ventas de Zafarraya Fault (Betic Cordillera, southern Spain). *Tectonics*, 43(2), e2023TC007956.

Martin-Rojas, I., Alfaro, P., Galindo-Zaldívar, J., Borque-Arancón, M.J., García-Tortosa, F.J., Sanz de Galdeano, C., Avilés, M., Sánchez-Alzola, A., González-Castillo, L., Ruano, R., Medina-Cascales, I., Tendero-Salmerón, V., Madarieta-Txurruka, A., Pedrosa-González, M.T. y Gil-Cruz, A.J. (2023). Insights of active extension within a collisional orogen from GNSS (Central Betic Cordillera, S Spain). *Tectonics*, 42(7), e2022TC007723.

Peláez-Montilla, J.A., Sanz de Galdeano, C. y López-Casado, C. (2003). Use of active fault data versus seismicity data in the evaluation of seismic hazard in the Granada Basin (Southern Spain). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(4), 1670-1678.

Reicherter, K.R., Jabaloy, A., Galindo-Zaldívar, J., Ruano, P., Becker-Heidmann, P., Morales, J., Reiss, S. y González-Lodeiro, F. (2003). Repeated palaeoseismic activity of the Ventas de Zafarraya fault (S Spain) and its relation with the 1884 Andalusian earthquake. *International Journal of Earth Sciences*, 92, 912-922.