

Riesgos naturales asociados a la evolución geomorfológica reciente del promontorio travertino de Letur (Prebético, Albacete)

Natural risks associated with the recent geomorphological evolution of the Letur travertine promontory (Prebetic, Albacete)

Mario Sánchez-Gómez^{1,2,3*}, David Sanz^{3,4}, Antonio M. Ruiz-Armenteros⁵, Fernando Pérez-Valera⁶, Jorge Delgado⁵ y Tomás Fernández^{2,5}

¹ Dpto. de Geología, Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas, 23071 Jaén.
msgomez@ujaen.es.

² Laboratorio de Riesgos Naturales, CEACTEMA. Campus Las Lagunillas, 23071 Jaén.

³ Instituto de Estudios Albacetenses "D. Juan Manuel" (IEA), c/ Tesifonte Gallego, 22, 02002 Albacete.

⁴ Dpto. Ing. Geológica y Minera, Universidad de Castilla la Mancha, 16071 Cuenca.
david.sanz@uclm.es.

⁵ Dpto. Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas, 23071 Jaén.
amruiz@ujaen.es, jdelgado@ujaen.es, tfernand@ujaen.es

⁶ Dpto. de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente, Universidad de Alicante. 03080 Sant Vicent de Raspeig, Alicante.
fperez@ua.es

*Corresponding autor

ABSTRACT

On October 29, 2024, in the context of a DANA climate situation, a flood seriously affected part of the Letur's old town (Albacete, south Spain). Apart from the direct effects that involved six deaths and extensive damage, cracks and displacements of up to half a meter were observed in buildings and pavements in some sectors. The town is located on a travertine promontory with scarps of tens of meters, which advances on the edge of a Miocene basin filled in the Pliocene. There is cartographic evidence that the tuffaceous building is highly unstable and is subject to rapid geomorphological evolution, which is appreciable through InSAR techniques. This work constitutes a preliminary study of the factors that condition the evolution of the promontory and the interactions between floods, anthropic activity and geotechnical stability, which imply significant risks.

Key-words: Letur, Sierra del Segura, InSAR, slope movement, travertine promontory.

RESUMEN

El 29 de octubre de 2024, en el marco de una situación climática de DANA, una riada afectó gravemente a parte del casco histórico de la localidad albaceteña de Letur. Aparte de los efectos directos, que implicaron seis muertes y cuantiosos daños, se observaron grietas y desplazamientos de hasta medio metro en edificios y pavimentos de algunos sectores. El pueblo se emplaza en un promontorio travertino con escarpes de decenas de metros, que avanza sobre el borde de una cuenca miocena, colmatada en el Plioceno. Se encuentran evidencias cartográficas de que el edificio tobáceo es altamente inestable y está sujeto a una rápida evolución geomorfológica, que es apreciable mediante técnicas InSAR. El presente trabajo constituye un estudio preliminar de los factores que condicionan la evolución del promontorio y de las interacciones entre las inundaciones, la actividad antrópica y la estabilidad geotécnica, que implican importantes riesgos.

Palabras clave: Letur, Sierra del Segura, InSAR, movimiento de ladera, promontorio travertino.

Geogaceta, 78 (2025), 79-82

<https://doi.org/10.55407/geogaceta113655>

ISSN (versión impresa): 0213-683X

ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 09/02/2025

Fecha de revisión: 24/04/2025

Fecha de aceptación: 30/05/2025

Introducción

Dos riadas consecutivas en el marco de una DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos) el pasado 29 de octubre de 2024 afectaron gravemente al casco antiguo del pueblo de Letur (Sierra del Segura, Albacete), causando seis muertes y cuantiosos daños materiales. Aunque no hay un cálculo oficial, estimaciones propias apuntan a que el cauce principal llevaba un caudal de más de 200 m³/s en cada una de las dos oleadas,

una al mediodía y otra al anochecer, que produjeron a su paso por las calles una modificación severa de su configuración. Una vez, pasado el primer momento de emergencia y asegurados los accesos, también se observaron grietas en edificios y pavimentos no afectados por la riada, así como asentamientos de calles que llegaron a alcanzar los 50 cm.

El casco antiguo de Letur (Fig.1) se sitúa en un lugar paisajísticamente privilegiado, un promontorio travertino que se alza unos 100 m sobre el nivel promedio actual por erosión de una cuenca del Mioceno superior. Esta situación, que

le otorga su singularidad y atractivo, sin embargo, implica una alta susceptibilidad ante procesos de ladera.

Aunque tanto los movimientos de ladera como las inundaciones son riesgos conocidos por la población más anciana o inquieta, que describen un evento de envergadura similar en los años 40, la percepción social del riesgo se había ido perdiendo. Además, Letur incorpora cada vez más habitantes foráneos, que lo escogen como retiro o segunda residencia, pero sin un acervo de las experiencias de generaciones anteriores, lo que los vuelve más vulnerables.

Este trabajo supone los resultados preliminares de una investigación sobre los procesos de ladera que están modelando los escarpes tobáceos de Letur y cómo la riada ha afectado su evolución en tiempo real mediante observaciones satelitales y de campo. Pretendemos establecer un "punto de partida" del conocimiento geológico de la zona, al que no se le había prestado atención hasta ahora, como única forma de convivir con procesos geológicos activos y mitigar el riesgo.

Marco Geológico-Geomorfológico

La localidad de Letur se emplaza sobre un complejo travertino desarrollado en una cuenca aluvial formada durante el Mioceno superior (Cuenca del Peralejo), cuyo relleno final se produjo en el Plioceno-Pleistoceno inferior (Jerez Mir, 1973). Posteriormente, la progresiva elevación de la región, seguida de un marcado encajamiento de la red fluvial, configura un sistema de drenaje que erosiona intensamente los materiales arcillosos y limosos de la Cuenca del Peralejo, debiendo salvar desniveles de más de 250 m respecto al nivel de base local, definido por el río Segura.

Durante la evolución del encajamiento regional, los sistemas travertinos de la zona formaron distintos niveles de terrazas en los momentos favorables para su desarrollo, coexistiendo con los procesos aluviales y generando, a su vez, importantes escarpes durante su crecimiento. En las proximidades del pueblo,

el complejo tobáceo parece haberse desarrollado en dos etapas, formando terrazas a distintos niveles topográficos. El nivel superior constituye una amplia llanura donde predominan las facies de *lagoon*, alcanzando una extensión máxima de 2000 ha. En su borde, se ha formado un frente de cascadas de más de 3 km de longitud (Fernández et al., 2014), con desniveles que superan los 100 m. La terraza inferior es de menor tamaño, pero también presenta un frente con alturas de al menos 40 m. Ambos episodios de formación de edificios tobáceos se encuentran asentados sobre niveles de arcillas y limos con intercalaciones de areniscas de origen fluvial, pertenecientes a la Cuenca del Peralejo.

Actualmente, el arroyo de Letur, procedente del Calar de Incol, discurre sobre la terraza travertínica superior, proveniente de relieves estructurales del Cretácico Superior y Mioceno medio (Fig. 1), atravesando la parte alta de la localidad con claros signos de encajamiento. Al llegar al casco antiguo, situado en un promontorio travertino de menor cota, el cauce principal lo debió atravesar originalmente por su parte central (calle Barranco). Sin embargo, el avance de las cabeceras de las cárcavas, formadas en los sedimentos mayoritariamente blandos infrayacentes, terminó por capturar el cauce principal, que ahora fluye normalmente por el este del promontorio, tras realizar un giro de 130° (Fig. 1). Por el oeste, existe un barranco similar que, de no mediar la intervención humana, debería actuar como aliviadero durante las avenidas. Los depósitos

travertínicos de Letur están íntimamente ligados al funcionamiento del arroyo de Letur desde sus inicios, como lo demuestran las intercalaciones de pasadas conglomeráticas de cantos gruesos entre las formaciones travertínicas (Sánchez-Gómez y Sanz, 2018).

La mayor parte de los travertinos de Letur pueden considerarse fósiles, existiendo algunos cuerpos aislados afectados por la vecina falla de Socovos en un periodo indeterminado del Plioceno (Pérez-Valera, 2022). Sin embargo, el edificio tobáceo principal sigue creciendo influido por la actividad humana. Las pérdidas de la red tradicional de riego y alimentación de molinos continúan precipitando travertinos con formaciones que han avanzado varios metros desde épocas históricas (Pérez-Valera, 2022).

Metodología

Se han utilizado dos metodologías principales: un clásico reconocimiento de campo y fotointerpretación sobre ortofotomágenes y MDE, y un análisis InSAR (interferometría radar de apertura sintética).

Para determinar si la riada afectó a la estabilidad del promontorio travertino, al que apuntaban las subsidencias y grietas de algunas calles, se realizó un análisis InSAR multitemporal (MT-InSAR) a partir de series temporales, concretamente de 59 escenas SAR capturadas entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de 2024, tanto ascendentes como descendentes. Se utilizaron imágenes SAR de la banda C, provenientes del satélite Sentinel-1A del programa Copernicus, con una longitud de onda de aproximadamente 5,7 cm y una frecuencia de 5,3 GHz.

Se aplicó un procesado PS-InSAR (interferometría de retrodispersores permanentes/persistentes) para detectar píxeles coherentes individuales dentro de esos conjuntos de múltiples imágenes SAR con una línea de base temporal de un año. Este método es esencial para superar las limitaciones de la interferometría convencional DInSAR. El análisis de las imágenes SAR se realizó utilizando el software SARPROZ (Perissin y Wang, 2011) mediante una serie de etapas: aplicación de órbitas precisas, definición de los enlaces entre las imágenes (incluida la selección de imágenes principales y secundarias), cálculo del mapa de reflectividad y el Índice de Estabilidad de la Amplitud (ASI), definición de la máscara para

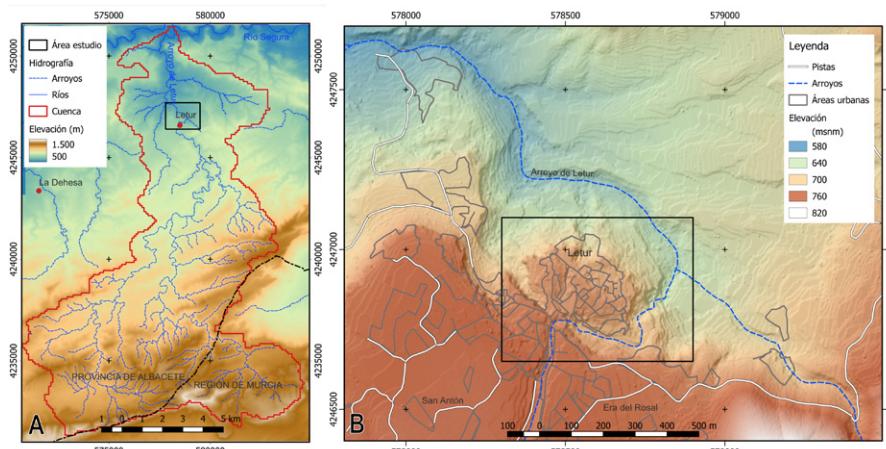


Fig. 1.- Situación orográfica de Letur. (A) Cuenca receptora del arroyo de Letur. (B) Promontorio sobre el que se asienta el casco antiguo de Letur. Nótese el giro de 130 grados producido por la captura fluvial de una cárcava remontante. Recuadro indica posición Fig. 3. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Orographic situation of Letur. (A) Catchment basin of the Letur stream. (B) Promontory on which the old town of Letur is located. Note the 130-degree turn produced by the fluvial capture of a rising gully. Box indicates position Fig. 3. See color figure in the web.

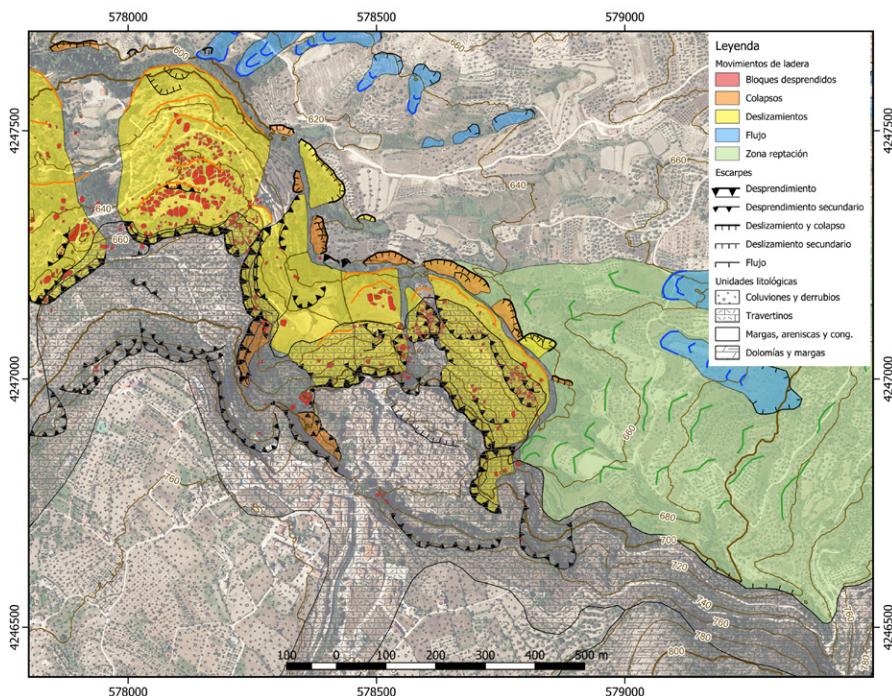


Fig. 2.- Inventario de movimientos de ladera en las proximidades del casco antiguo de Letur.
Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Inventory of slope movements near the old town of Letur. See color figure in the web.

la selección de puntos, geocodificación preliminar, procesamiento InSAR, análisis multitemporal, estimación y eliminación de los artefactos atmosféricos (APS) y generación de los mapas de velocidades y series temporales.

Inventario de movimientos de ladera

El inventario de movimientos de ladera y áreas inestables se muestra en la Figura 2. Se ha podido identificar la pre-

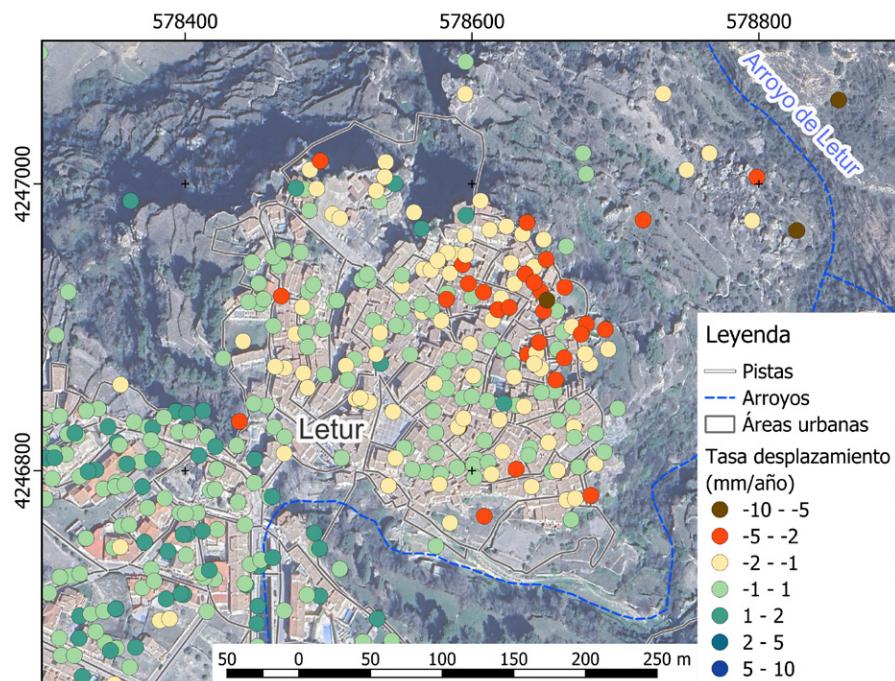


Fig. 3.- Mapa de velocidades medias (mm/a) en dirección line-of-sight (LOS) en el promontorio de Letur en el periodo analizado (enero a diciembre de 2024) obtenidas con PS-InSAR.
Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- Map of mean velocities (mm/yr) in the line-of-sight (LOS) direction for the Letur promontory during the study period (January to December 2024), derived from PS-InSAR. See color figure in the web.

sencia de deslizamientos en el entorno más próximo de Letur, a pesar de estar ocasionalmente enmascarados por la presencia de los propios depósitos travertinos. Los movimientos se originan en las lutitas de la cuenca miocena y ocasionan, además, el desprendimiento de bloques de travertinos desde el promontorio, por lo que los movimientos pueden considerarse en muchos casos complejos de desprendimiento-deslizamiento.

Justo al oeste del promontorio se ha identificado un deslizamiento con mayor desarrollo horizontal, que presenta un cuerpo bien formado en las margas y un gran número de bloques desprendidos del travertino por toda la masa movilizada.

Por otra parte, en una extensión más amplia se aprecian movimientos de tipo flujo como los que se producen en el sector norte y este. Se ha descrito un área de reptación general, en la que se diferencian localmente flujos en los tramos más margosos, que dejan escarpes más pronunciados en las arenas o conglomerados.

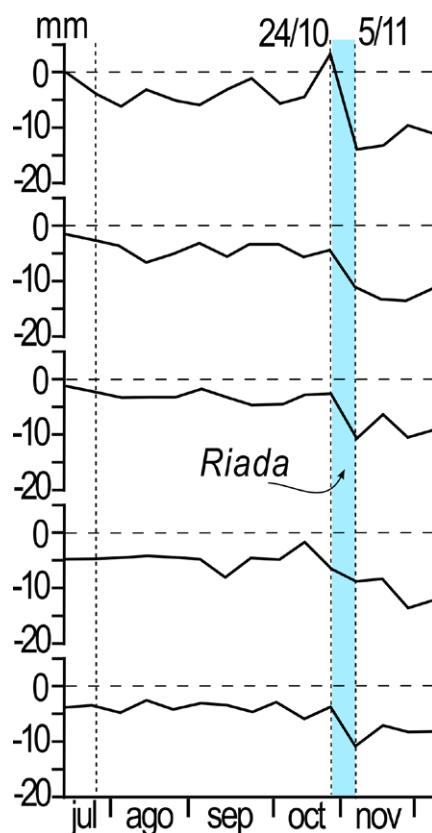


Fig. 4.- Detalle de la serie temporal a partir del análisis MT-InSAR entre julio y diciembre de 2025 en algunos puntos de la zona inestable del casco antiguo de Letur (en rojo Fig. 3).
Ver figura en color en la web.
Fig. 4 Detail of the time series from the MT-InSAR analysis between July and December 2025 at some points in the unstable area of the Letur's old town (red points in Fig. 3). See color figure in the web.

Finalmente, se observan colapsos en la ribera del arroyo de Letur y sus tributarios, en los materiales margosos y las terrazas colgadas. En este sentido, escarpes con desprendimiento de bloques de travertinos de gran tamaño pueden formar parte de movimientos de mayor entidad.

Resultados InSAR

Los resultados del procesado PS-InSAR en el período de enero a diciembre de 2024 indican que el promontorio de Letur presenta una inestabilidad con deslizamientos del terreno de hasta 5 mm/a de forma continuada. La Figura 3 muestra cómo la zona inestable se encuentra al noreste de una línea que coincide con las calles que más deformación presentaron tras las inundaciones, situadas al pie de un pequeño desnivel.

El análisis efectuado en este trabajo muestra por su parte que el desplazamiento del sector noreste del promontorio seguía con una tasa similar. Sin embargo, tras las riadas se produce un desplazamiento marcado (Fig. 4) que se observa en la siguiente toma de imagen SAR (12 días después de la DANA). Dado el poco número de imágenes disponibles por lo reciente del fenómeno, no es posible determinar todavía si la tasa de deformación se mantiene, ha disminuido o aumentado.

Discusión y conclusiones

La cuenca de Peralejo, en la que se enclava el pueblo de Letur, está constituida por materiales que la han ido rellenando desde el Mioceno (margas y arenas) hasta el Cuaternario, con depósitos aluviales y travertínicos que continúan depositándose aún en la actualidad. En la zona se identifican un número importante de movimientos de ladera que afectan tanto a los materiales más arcillosos o arenosos (flujos y deslizamientos), como a los travertinos (desprendimientos de bloques). Muchos de ellos se producen en torno al contacto entre ambos materiales (permeable sobre impermeable con probable acumulación de agua) por lo que muchos de los movimientos pueden considerarse complejos. Sin embargo, la propia naturaleza irregular de los depósitos travertínicos hace que en muchos casos sea difícil la delineación de los movimientos, debido a la confusión entre la morfología de los distintos depósitos, además de la determinación del origen de los bloques. El caso más claro

morfológicamente es el deslizamiento al oeste del promontorio, que presenta un lóbulo bien formado en las margas y cuenta con un gran número de bloques desprendidos del travertino por toda la masa. En este caso, la morfología de la ladera superior hasta el límite del travertino hace pensar en una inestabilidad generalizada, que habrá que confirmar.

Más trascendente es el movimiento que afecta a la parte noreste del pueblo, en el que, a las evidencias morfológicas como el resalte topográfico marcado en la Figura 2, hay que añadir observaciones en superficie y los datos de InSAR. El desplazamiento continuo es del orden de 5 mm/a, pero la riada dobló, incluso triplicó, esta deformación en pocos días.

Las causas de este desplazamiento no pueden ser determinadas en esta investigación preliminar, pero pueden proponerse tres hipótesis que no son incompatibles entre sí: (1) una simple relajación del macizo rocoso paralela a los escarpes, como ocurre en otros edificios tobáceos con fuertes desniveles, (2) la inestabilidad geotécnica de las arcillas y limos lacustres presentes en la base de los escarpes frontales y que la erosión está exhumando, y (3) la presencia de grietas (simas) que han sido llenadas antrópicamente.

Una prospección espeleológica en los años 80 puso de manifiesto la existencia de numerosas simas, muchas de ellas fracturas abiertas bajo el casco urbano que habían sido deficientemente llenadas. No obstante, dada la extensión y uniformidad de la deformación (Fig. 3), las simas serían una consecuencia más, no la causa del desplazamiento.

En cualquier caso, la causa última de esta situación de inestabilidad generalizada sería esencialmente el fuerte encajamiento de la red fluvial en los sedimentos arcillosos de la cuenca del Peralejo. Además, no es descartable una erosión interna a través de las simas y fracturas durante la riada, lo que podría explicar el episodio de deformación intensa mostrado en la Figura 4. Hay que destacar en este sentido que, tras la riada, el curso del agua a lo largo del río se pierde entre los travertinos fracturados y reaparece en nuevas fuentes a techo de las arcillas.

Resumiendo, Letur, especialmente el casco antiguo, está emplazado en un complejo travertínico que puede considerarse activo. La aparente estabilidad de las últimas décadas ha sido puesta en evidencia por la riada. Es necesario, por tanto, una precisa caracterización de los

fenómenos geomorfológicos que controlan su evolución. Preconizamos que las labores de reconstrucción y de planificación urbana, ya comenzadas, tengan en cuenta estos procesos. Este trabajo ha identificado las posibles causas, pero es necesario un estudio sistemático tanto de índole geológico-geomorfológica como geomática, que confirme y cuantifique el peso de cada una de ellas en la inestabilidad.

Contribución de los autores

MSG y TF: Estructura del trabajo, figuras, coordinación y edición; DS, AMRA y FPV: metodología, investigación, análisis y adquisición de datos; JD: revisión del manuscrito y supervisión.

Agradecimientos

Este trabajo no ha recibido ninguna financiación dedicada externa y ha podido realizarse a través de fondos no finalistas a disposición de los investigadores en sus respectivas instituciones y centros de trabajo, a saber: laboratorio de riesgos naturales del CACTEMA de la Universidad de Jaén, Universidad de Castilla-La Mancha y Universidad de Alicante. Agradecemos al Ayuntamiento de Letur y todos sus integrantes, su total apoyo cuando ha sido requerido. Cuatro revisores anónimos han mejorado sensiblemente la versión inicial del manuscrito

Referencias

- Fernández, A., Fidalgo, C., García del Cura, M.A., González J.A., Ordóñez, S. y Vázquez Navarro, J. (2014). En: *Las Tobas en España* (J.A. González y M.J. González Amuchastegui, Eds.). Sociedad Española de Geomorfología, Badajoz, 267-284.
- Jerez-Mir, L. (1973). *Geología de la Zona Prebética en la transversal de Elche de la Sierra y sectores adyacentes (provincias de Albacete y Murcia)*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada. 749 p.
- Pérez-Valera, L.A. (2022). *Reparto de la deformación en el sector septentrional del Arco de Cazorla*. Tesis Doctoral, Univ. de Jaén, 163 p.
- Perissin, D., Wang, T. (2011). *Repeat-pass SAR interferometry with partially coherent targets*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 50, 271–280.
- Sánchez-Gómez y Sanz. (2018). *Colección Geolodía (Albacete)*, 12p.