

EMPLEO DE IMÁGENES PAZ PARA LA MONITORIZACIÓN DE UN MOVIMIENTO DE LADERA EN ALCOY (ALICANTE) MEDIANTE INTERFEROMETRÍA SAR DIFERENCIAL

**W.T. SZEIBERT (1,2), R. TOMÁS (2), X. LIU (2,3), J.M. LOPEZ-SANCHEZ (4), E.
DÍAZ (2), C. ZHAO (3)**

(1) Sixense, Departamento Satélite
L'Hospitalet de Llobregat
Barcelona, España.

(2) Departamento de Ingeniería Civil
Escuela Politécnica Superior de Alicante
Universidad de Alicante
Alicante, España

(3) School of Geological Engineering and Geomatics
Chang'an University
Xi'an, China

(4) Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal
Escuela Politécnica Superior de Alicante
Universidad de Alicante
Alicante, España

RESUMEN

La ciudad de Alcoy se sitúa en el norte de la provincia de Alicante, en la cuenca de drenaje del río Serpis. Esta zona se caracteriza por la presencia de materiales del Mioceno hasta la actualidad con pendientes elevadas, sobre las que se desarrollan numerosos movimientos de ladera. En este estudio se ha analizado un movimiento de ladera localizado al sudeste del casco urbano de Alcoy, en las inmediaciones del río Molinar, que afecta a la carretera N-340, así como a diversas infraestructuras próximas. El análisis de los desplazamientos se ha realizado a partir de imágenes SAR del satélite PAZ (banda X) procesadas mediante Interferometría SAR (InSAR) diferencial avanzada. Las series temporales y los mapas de desplazamiento han permitido identificar los posibles factores desencadenantes, así como definir la superficie afectada por la inestabilidad. El estudio se ha completado con una cartografía geomorfológica de detalle a escala 1:2.000, además de un análisis de daños estructurales realizado in situ. La integración de toda la información obtenida y su posterior análisis ha permitido definir de forma precisa la extensión de la inestabilidad, su dinámica y su relación con los posibles factores desencadenantes.

1. INTRODUCCIÓN

Los movimientos de ladera causan cerca de 100 fallecidos mensualmente en todo el mundo (Froude & Petley, 2018), además de pérdidas económicas de miles de millones de dólares al

año (Aleotti & Chowdhury, 1999). La caracterización de la dinámica de las inestabilidades y el conocimiento de su relación con los factores desencadenantes resulta imperativo a la hora de gestionar estos riesgos geológicos y reducir las pérdidas asociadas.

La monitorización de los movimientos de ladera se suele abordar a través de técnicas convencionales como la topografía o la instalación de instrumentos *in situ* como los inclinómetros. Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado diversas técnicas remotas, como la interferometría radar de apertura sintética (InSAR), que permiten medir los desplazamientos del terreno en amplias zonas a lo largo del tiempo. La InSAR constituye una excelente alternativa para medir con gran precisión y resolución los desplazamientos asociados a los movimientos de ladera, y proporciona tanto mapas de distribución de desplazamientos, como series temporales que muestran la evolución en el tiempo de los desplazamientos de la superficie del terreno, así como de las estructuras construidas sobre el mismo.

La ciudad de Alcoy, localizada en el norte de la provincia de Alicante, posee una litología y relieve que son proclives al desarrollo de movimientos de ladera, que históricamente han afectado a numerosos edificios y vías de comunicación de la ciudad (Delgado & Tomás, 2003). En el presente trabajo se realiza un estudio mediante InSAR utilizando datos adquiridos por el satélite PAZ (banda X) de un deslizamiento localizado en Sen Benet Baix, al sureste de la ciudad de Alcoy, en la margen izquierda del Río Molinar y que afecta a la carretera nacional N-340. Los resultados obtenidos mediante InSAR son a su vez integrados con información procedente de diferentes fuentes para una mejor caracterización del deslizamiento y de su dinámica. La principal novedad de este trabajo es la aplicación de imágenes procedentes del satélite PAZ para la monitorización de un movimiento de ladera del que se dispone de muy poca información, pese a afectar a uno de los principales accesos rodados de la ciudad.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio (Figura 1A) se localiza al sureste del casco urbano de la ciudad de Alcoy, en el norte de la provincia de Alicante (España). El término municipal de Alcoy se encuentra situado en las Zonas Externas de la cordillera Bética, dentro de la unidad Prebética. El relieve predominante está constituido por materiales del Mesozoico y del Paleógeno, que presentan orientaciones preferentemente NE-SO y cuyas estructuras geológicas poseen como nivel de despegue las arcillas yesíferas Triásicas del Keuper (Estévez Rubio et al., 2004).

El casco urbano se ubica dentro de una cuenca Neógeno-Cuaternaria (Almela, 1975) en la que destacan las margas de origen marino de la formación Tap, que alcanzan potencias superiores a los 400 m de espesor en su depocentro (IGME, 1985). Estas margas presentan una estructura masiva con nódulos de caliza e intercalaciones arcillosas. De forma discordante a las margas del Tap (Figura 1B) hay una extensión considerable de paraconglomerados oligomícticos de caliza con matriz arcillosa con arena de edad Plioceno (Almela, 1975). También existen numerosos depósitos cuaternarios de diversas procedencias, incluidos, depósitos fluviales y aluviales de la red de drenaje del río Serpis (IGME, 1985).

La zona de estudio forma parte del área de captación del río Molinar, que es tributario del río Serpis. Estos ríos, junto con el Barchel, generaron valles escarpados con pendientes superiores a los 45° que alcanzan los 30 m de altura debido a la erosión remontante producida como consecuencia de un importante episodio erosivo acaecido durante el Cuaternario (Delgado et al., 2006; Delgado & Tomás, 2003; IGME, 1985). Este relieve abrupto, combinado con las

litologías poco competentes mencionadas anteriormente, conlleva un importante riesgo de inestabilidades de ladera.

En un estudio de riesgos geológicos desarrollado por el IGME (1985) se señala que los movimientos más frecuentes consisten en deslizamientos que se desarrollan en las margas del Tap y aluviales, que presentan planos de rotura curviplana.

Históricamente, Alcoy ha sufrido algunos terremotos de gran magnitud como el ocurrido el 18 de diciembre de 1396 (intensidad VIII-IX) en Tavernes de la Valldigna, del 2 de diciembre de 1620 con epicentro en Alcoy (intensidad VII-VIII), el de Muro de Alcoy el 19 de junio de 1644 (intensidad VIII), el acaecido el 23 de Marzo de 1748 en Estubeny (intensidad IX) o el de Onteniente, ocurrido el día 1 de Julio de 1945 (intensidad VII, $m_b=4.8$) (IGN, 2022a). Cabe señalar que, aunque la zona está considerada como un entorno de baja actividad sísmica (Delgado et al., 2006), existe constancia de que tanto el terremoto de Alcoy como el de Onteniente desencadenaron inestabilidades en la zona urbana de Alcoy (IGME, 1985). Respecto a los factores climáticos debe indicarse que Alcoy registra precipitaciones anuales de entre 200 y 900 mm, siendo la media de 520 mm (Círculo Industrial de Alcoy, 2022).

El movimiento de ladera estudiado en este trabajo fue cartografiado originalmente por el IGME (1985) y más recientemente por Martino et al. (2018). La inestabilidad presenta una morfología en planta aproximadamente elíptica, con su eje mayor orientado según la línea de máxima pendiente del terreno. Esta atraviesa la carretera N-340, en su coronación se sitúa el polideportivo municipal Francisco Laporta, y en el pie existen varias edificaciones industriales abandonadas.

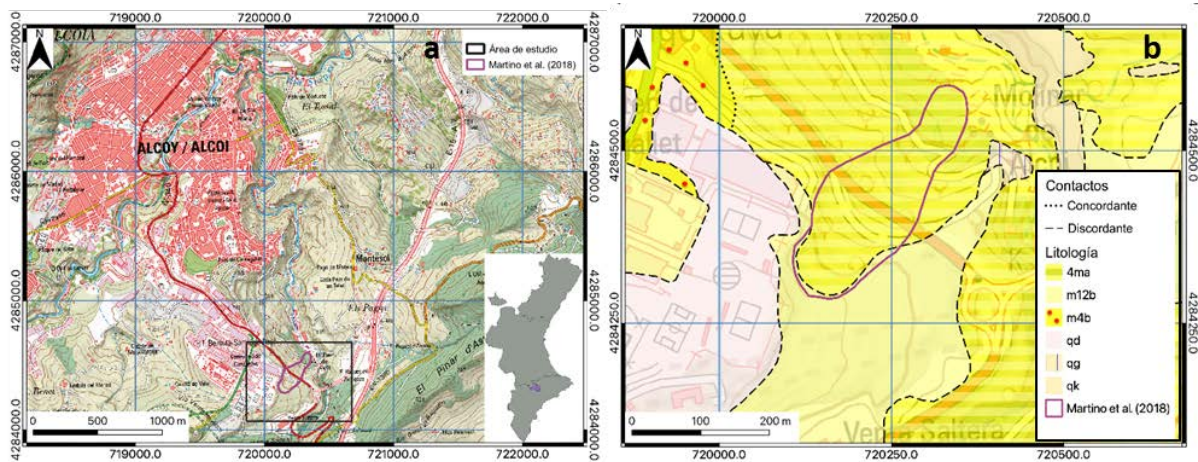


Figura 1: (A) Localización de la zona de estudio. (B) Mapa geológico (basado en IGME, 1985) con la delimitación del deslizamiento realizada por (Martino et al., 2018). Las litologías son: 4ma: Margas masivas (formación Tap); m12b: Paraconglomerados oligomícticos con matriz arcilloso con arenas (Plioceno); m4b: Margas con intercalaciones de margocalizas (Mioceno); qd: Zahorras naturales (Holoceno); qg: gravas y arcillas (Pleistoceno superior); qk: Travertinos con intercalaciones lenticulares de grava (Pleistoceno).

3. METODOLOGÍA

3.1. Actividad sísmica

Se ha analizado el catálogo del Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2022b) de terremotos ocurridos durante el periodo monitorizado con la técnica InSAR, que abarca desde septiembre de 2019 a febrero 2021, con un radio aproximado de 100 km. En total se han identificado unos 200 eventos, de los cuales solamente dos presentaron una magnitud (m_b) superior a 3. El

epicentro del sismo de mayor magnitud (mbLg 3.6) e intensidad máxima de IV, más próximo a la inestabilidad estudiada, se produjo el día 3 de noviembre de 2020 a unos 7 km de distancia. Para este sismo, la magnitud de momento (M_w) se ha calculado mediante la magnitud a partir de la amplitud de la fase Lg (mbLg) con la expresión siguiente (Rueda y Mézcua, 2002):

$$M_w = 0.311 + 0.637mbLg + 0.061mbLg^2 \quad (1)$$

Esta relación es válida para valores de mbLg comprendidos entre 1.7 y 5.7, resultando un valor de $M_w=3.4$ para el evento considerado. Este valor permitirá evaluar la potencial influencia del sismo en el deslizamiento estudiado a través de la relación de Keefer (1984) y la equivalente propuesta por Delgado et al. (2011) para la cordillera Bética.

3.2. Campaña de campo

El reconocimiento de campo realizado en el entorno del movimiento de ladera ha permitido, junto con el análisis de fotografías aéreas, delinear su contorno de forma precisa. Para ello, en primer lugar, se llevó a cabo una cartografía geológica de detalle. En segundo lugar, se cartografiaron los escarpes existentes, las crestas transversales, así como las grietas de tracción, cuya apertura fue debidamente registrada. Por último, se llevó a cabo un inventario de daños en los edificios existentes en el entorno de la inestabilidad, de acuerdo a la metodología propuesta por Del Soldato et al. (2018).

3.3. Procesado InSAR

Las imágenes SAR empleadas en este trabajo (Tabla 1) han sido adquiridas por el satélite español PAZ, que opera en la banda X de frecuencias (9.65 GHz). Se han utilizado un total de 21 imágenes adquiridas entre el 09/09/2019 y el 07/02/2021 comprendiendo un periodo temporal de 517 días (i.e. 1.4 años). El conjunto de imágenes ha sido pre-procesado mediante el programa Gamma, llevando a cabo los siguientes pasos: corregistrado de las imágenes SAR, generación de interferogramas, desenrollado de fase y filtrado. Se ha utilizado el método SBAS (*Small baseline InSAR time series analysis*) para estimar el desplazamiento y las series temporales, siendo las líneas de base espacial y temporal máximas de 400 m y 150 días, respectivamente.

El procesado de los datos InSAR permite obtener la velocidad media de desplazamiento de cada reflector persistente (PS), además de la serie temporal de los desplazamientos producidos en cada PS durante el periodo estudiado.

Un aspecto relevante a tener en cuenta es que los desplazamientos de cada PS se miden en la dirección de la línea de vista (LOS) del satélite. Además, los valores negativos indican un alejamiento de la superficie del terreno respecto al satélite, mientras que los positivos indican el acercamiento hacia el satélite.

4. RESULTADOS

4.1. Trabajo de campo

El trabajo de campo desarrollado ha permitido delimitar la extensión del movimiento de ladera además de los daños que ha causado sobre la carretera N-340 y sobre diversas construcciones (Figura 2). El deslizamiento tiene una longitud de 360 m y un ancho variable entre 92 y 160 m.

En la cabecera del movimiento de ladera se han identificado el escarpe principal, así como numerosos escarpes secundarios. En el pie también se distingue algún escarpe de menor longitud y diversas crestas transversales. Por otra parte, se han cartografiado grietas de tracción tanto en el firme de la antigua carretera N-340, de hasta 0.3 m de apertura, como en la parte superior del flanco derecho, en el que poseen hasta 1 m de apertura.

Los edificios denominados 3, 4 y 5 se localizan en el pie del movimiento de ladera (Figura 2) y no presentan daños. Sin embargo, el edificio 2, también situado en el pie, presenta numerosos daños, principalmente en forma de grietas en los paramentos del edificio, compatibles con la actividad de la inestabilidad estudiada. El edificio 1, situado en el lateral derecho del pie del deslizamiento tampoco presenta daños.

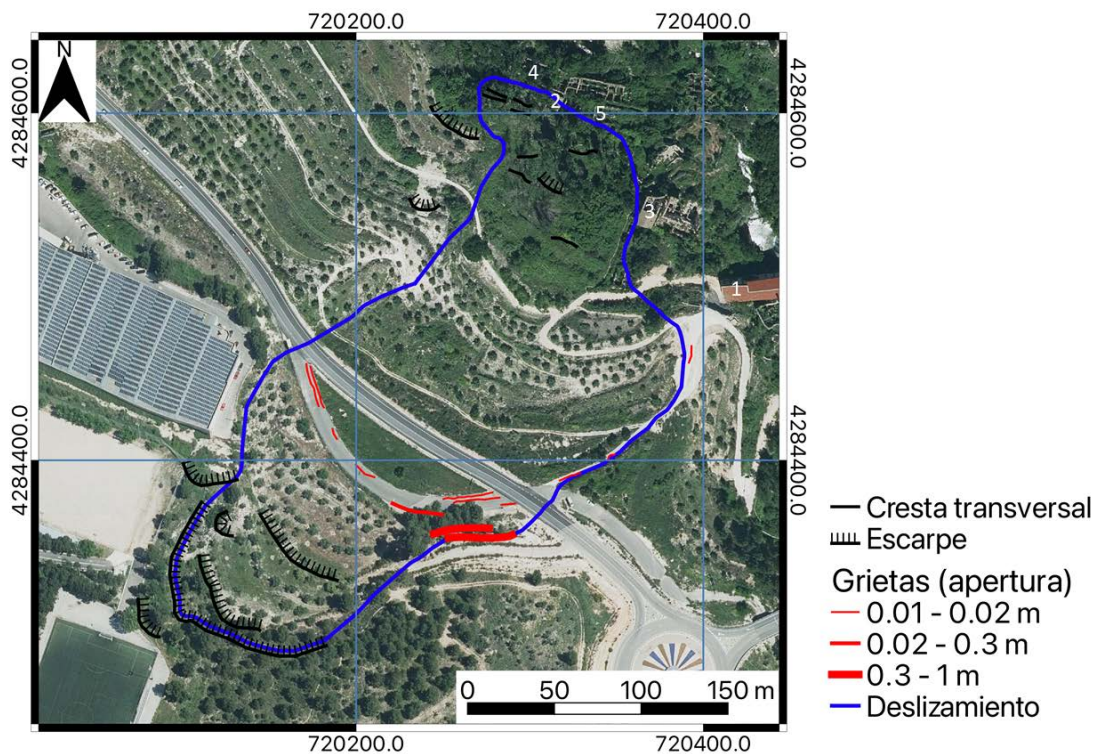


Figura 2: Mapa geomorfológico del deslizamiento. Los números 1 a 5 se refieren a construcciones existentes.

4.2. Análisis InSAR

4.2.1. Distribución de los desplazamientos

La Figura 3 muestra las velocidades InSAR de la superficie del terreno. Como puede observarse, los desplazamientos de mayor magnitud del deslizamiento se concentran sobre la carretera N-340 (Figura 3), con velocidades medias en la línea de vista del satélite (LOS) de hasta -31.08 mm/año. En la coronación, el patrón de desplazamiento es más heterogéneo, mostrando valores de desplazamiento de hasta -8 mm/año. Debido a la existencia de vegetación, a la que es especialmente sensible la banda X, el número de PS disminuye drásticamente en la zona del pie de la inestabilidad. Fuera del contorno del deslizamiento, se observa estabilidad general, con una desviación estándar ($1 \cdot \sigma$) de 1.93 mm/año y desplazamientos medidos de entre -4 y 4 mm/año. En la zona central de la inestabilidad, coincidiendo con la zona del terraplén de la carretera N-340, se observa una mayor deformación negativa (alejamiento del satélite) que en la parte más baja, donde se aprecian movimientos

positivos (hacia el satélite), lo que podría ser compatible con un mecanismo de rotura rotacional (Figura 3).

4.2.2. Series temporales

En la Figura 4 se representan la serie temporal del desplazamiento medio de todos los PS localizados dentro (línea de color verde) y fuera (línea de color rojo) del contorno de la inestabilidad, así como la de precipitación acumulada. Se ha marcado también el terremoto ocurrido el 3 de noviembre de 2020 (3.6 mbLg) con epicentro a 6.44 km de la inestabilidad (línea negra vertical). Cabe aclarar que la precipitación acumulada representa la lluvia total acumulada hasta cada fecha de adquisición de una imagen SAR (en este procesado se dispone generalmente de una imagen cada 11 días) por lo que corresponde a las precipitaciones acumuladas los 11 días previos a cada medida de deformación.

Como se aprecia en la Figura 4, el desplazamiento medio fuera del movimiento de ladera es estable, con oscilaciones en torno a 0 y con valores máximos y mínimos comprendidos entre +2 y -2 mm, respectivamente. Dentro del contorno de la inestabilidad, el desplazamiento aumenta de forma progresiva, con algunas oscilaciones de amplitud inferior a 4 mm y con un desplazamiento máximo medio registrado superior a los -8 mm y que en alguno de los PS alcanzó los -50.3 mm.

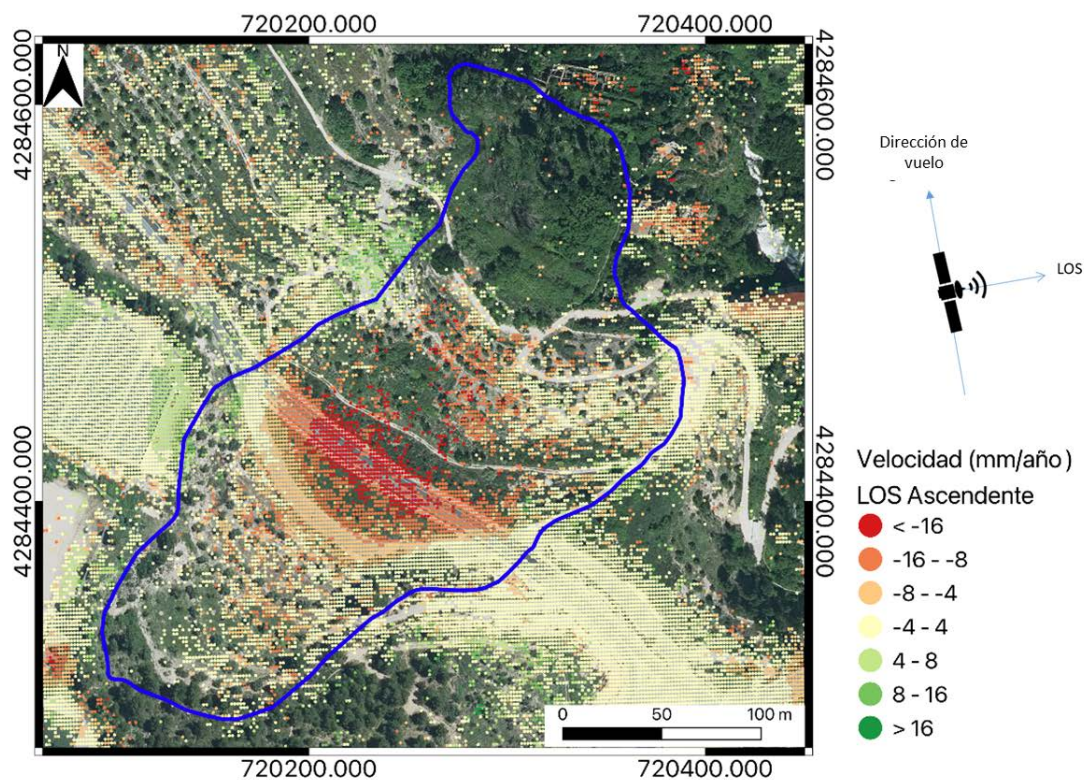


Figura 3: Mapa de velocidades InSAR. La deformación está medida en dirección de la máxima pendiente.

5. DISCUSIÓN

En el presente trabajo se han empleado datos InSAR obtenidos a partir del procesado de imágenes del satélite PAZ para monitorizar un movimiento de ladera. Los datos InSAR, junto

con la información de detalle obtenida *in situ*, han permitido caracterizar la extensión y la dinámica del deslizamiento, que además parece presentar una componente rotacional.

El tramo de carretera en desuso debido a la eliminación de la curva, que correspondería al cuerpo principal del movimiento de ladera, concentra la mayor tasa de desplazamiento de la inestabilidad. La cabecera también muestra desplazamientos, aunque de menor magnitud. Los desplazamientos medidos son compatibles con las grietas halladas sobre el tramo de carretera en desuso (Figura 2) y con los trabajos de restitución del firme que se realizan en el tramo actual de forma periódica (obsérvese el cambio de color del pavimento de la zona afectada por el deslizamiento en la Figura 2).

El movimiento de ladera estudiado aparece cartografiado en el “Mapa geotécnico y de riesgos geológicos para la ordenación urbana de Alcoy” elaborado por el IGME (1985) e incluso se puede identificar en las fotografías aéreas del “Vuelo Americano” realizado entre los años 1956 y 1957, por lo que su origen resulta desconocido. No obstante, existen evidencias de su actividad desde entonces.

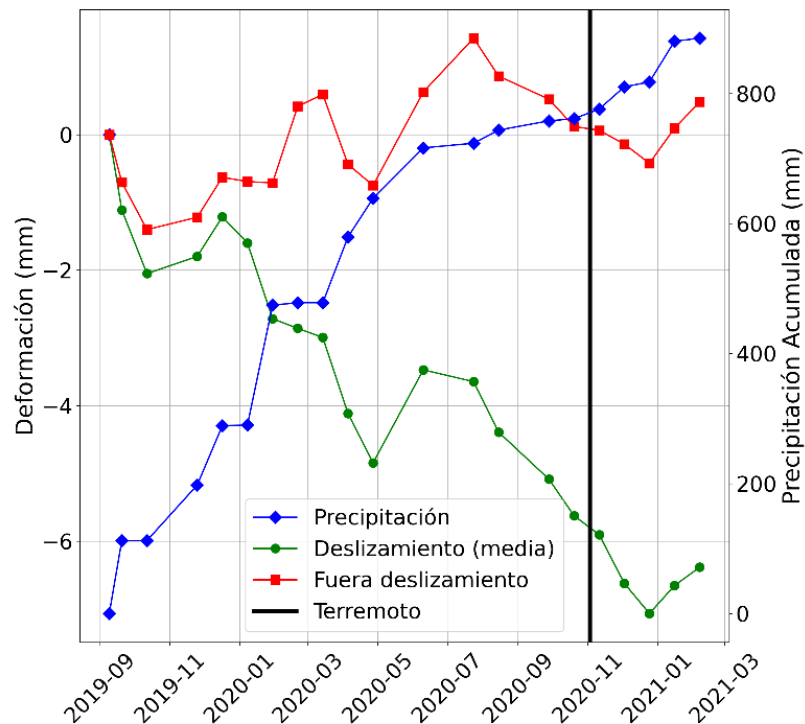


Figura 4: Series temporales promedio de los desplazamientos es a lo largo de la LOS de todos los PS situados dentro (línea verde) y fuera (línea roja) de la zona inestable mostrada en la Figura 3. La línea azul corresponde a la precipitación acumulada. La línea vertical corresponde a la fecha del terremoto de magnitud mbLg 3.6 ocurrido el 03/11/2020.

Más recientemente, en el año 2009 se iniciaron las obras de acceso desde la nueva autovía A-7, en las que se llevó a cabo la eliminación de la curva existente entre el P.K. 792+065 y el P.K. 792+225 de la N-340. La actuación consistió en la ejecución de un relleno de tierra compactada para salvar el desnivel generado por el cuerpo del deslizamiento y mantener así la cota de la carretera (Figura 5). Esta sobrecarga, sin duda, ha jugado un papel fundamental en la reducción del factor de seguridad del deslizamiento al actuar como una sobrecarga que actúa en el cuerpo de la masa inestable, en las proximidades de la cabecera, tal y como han demostrado los modelos geotécnicos desarrollados por Szeibert (2022).



Figura 5: Ejecución del terraplén a media ladera para la eliminación de la curva de la N-340.

La precipitación también juega un papel muy importante en la estabilidad de este deslizamiento. La lluvia acumulada muestra una excelente correlación con el movimiento acumulado del deslizamiento (Figura 6), por lo que se ha tratado de establecer una relación matemática sencilla que exprese dicha relación. Para ello, se ha considerado el desplazamiento acumulado en valor absoluto y la precipitación acumulada en cada fecha para la que se dispone de una imagen SAR (Figura 6) ajustando la siguiente ecuación lineal que proporciona un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9845:

$$D = 0,0123 \cdot P \quad (3)$$

Donde D es el desplazamiento (en mm) y P es la precipitación acumulada (en mm).

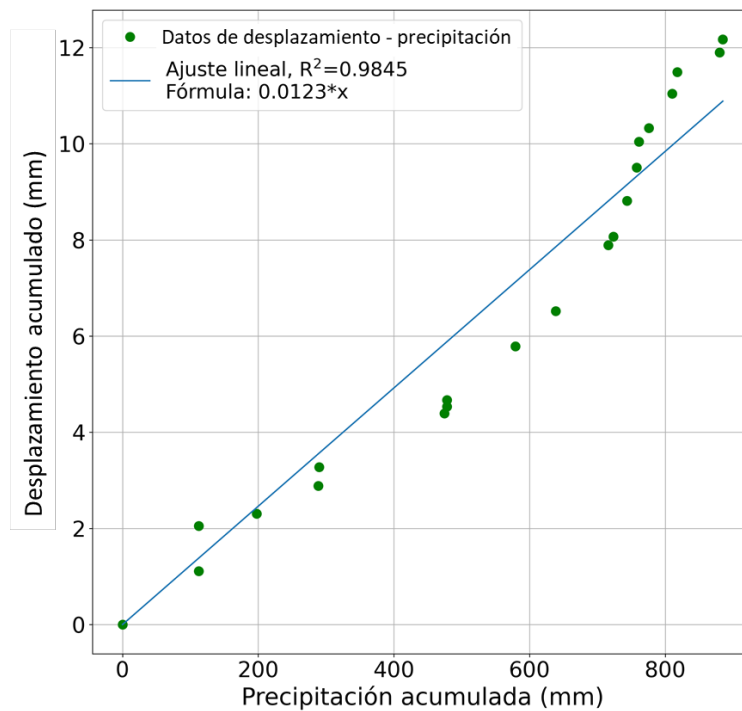


Figura 6: Correlación entre el desplazamiento acumulado del terreno con la precipitación acumulada.

Por otro lado, se ha estudiado la posible influencia de los sismos de pequeña magnitud que se han producido durante el periodo estudiado en la dinámica del movimiento. Aunque la resolución espacial de la serie temporal no permite identificar aceleraciones en los desplazamientos del movimiento antes y después del evento, las velocidades medidas en los

periodos previos y posteriores al sismo son similares, por lo que no parece haber tenido ninguna influencia en su dinámica. Los datos aportados por Delgado et al. (2011) confirman que no existe constancia de que históricamente se hayan producido en la cordillera Bética inestabilidades coherentes (según la nomenclatura usada por los autores) desencadenadas por eventos de magnitud inferior a 4.8, lo que confirma las observaciones realizadas en este deslizamiento.

6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha llevado a cabo el estudio de un deslizamiento que afecta la carretera N-340 en las inmediaciones de la localidad de Alcoy. Para ello se ha realizado una cartografía geomorfológica y geológica de detalle, que junto a la información InSAR, han permitido delimitar la inestabilidad y estudiar la dinámica de la misma. El procesado InSAR realizado con imágenes del satélite PAZ muestra velocidad de desplazamiento de hasta 31.1 mm/año en la línea de vista del satélite y desplazamientos acumulados de hasta -50.3 mm. Los daños observados en la carretera y en una edificación abandonada situada al pie del deslizamiento, parecen guardar relación con su actividad. Por otro lado, la zona del terraplén construido en 2009 para la eliminación de la curva de la N-340, concentra los mayores desplazamientos, por lo que parece quedar claro el efecto negativo ocasionado por la sobrecarga inducida por el relleno que también confirman otros estudios. Se ha encontrado una excelente correlación entre los desplazamientos y la precipitación, quedando patente que esta juega un papel clave en la dinámica del deslizamiento. Asimismo, la distribución de los desplazamientos a lo largo de la ladera parece indicar un patrón de deslizamiento rotacional.

Estos resultados proporcionan una información de gran utilidad para la gestión de este deslizamiento, tanto para establecer medidas correctoras en zonas donde se hayan producido inestabilidades, como para prevenir las mismas e incluso para comprender el funcionamiento de inestabilidades similares existentes en la zona. No obstante, es conveniente la instalación de inclinómetros u otros sistemas equivalentes para establecer con más precisión la profundidad del deslizamiento y poder así llevar a cabo un diseño óptimo de las medidas correctoras.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto ESA-MOST China DRAGON-5 (ref. 59339). Las imágenes PAZ utilizadas en este estudio han sido proporcionadas por el equipo científico de INTA-PAZ en el marco del proyecto AO-001-025 (Identification and monitoring of slope movement: evaluation of urban infrastructure damage from InSAR data).

REFERENCIAS

- Aleotti, P. and Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58: 21–44.
- Almela, A., Quintero, Gómez-Nogueroles, E., and Mansilla H., 1975. Mapa y memoria explicativa de la Hoja 821 (Alcoy) del Mapa Geológico E. 1: 50.000. Plan Magna.
- Círculo Industrial de Alcoy, 2022. *Meteorología. Pluviómetro manual*. Página web: <https://www.circuloindustrial.net/>.
- Delgado, J., Peláez Montilla, J. A., Tomás, R., Estévez Rubio, A., López Casado, C., Doménech Morante, C., and Cuenca Payá, A., 2006. Evaluación de la susceptibilidad de

- las laderas a sufrir inestabilidades inducidas por terremotos: Aplicación a la cuenca de drenaje del río Serpis (provincia de Alicante). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 19: 197-218.
- Delgado, J. and Tomás, R., 2003. Movimientos de ladera en el casco urbano de Alcoy y Sectores adyacentes. In: Recursos Didácticos para la enseñanza de los Riesgos Geológicos en la Provincia de Alicante. Edita ICE Universidad de Alicante. Alicante.
- Delgado, J., Peláez, J.A., Tomás, R., García-Tortosa, F.J., Alfaro, P. and López Casado, C., 2011. Seismically-induced landslides in the Betic Cordillera (S Spain). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31: 1203-1211.
- del Soldato, M., Riquelme, A., Bianchini, S., Tomas, R., di Martire, D., de Vita, P., Moretti, S., and Calcaterra, D., 2018. Multisource data integration to investigate one century of evolution for the Agnone landslide (Molise, southern Italy). *Landslides*, 15: 2113–2128.
- Estévez Rubio, A., Vera Torres, J. A., Alfaro García, P., Andreu Rodes, J. M., Tent-Manclus, J. E., and Yébenes Simón, A., 2004. Geología de la provincia de Alicante. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12.1: 2-15.
- Froude, M. J. and Petley, D. N., 2018. Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18: 2161–2181.
- IGME, 1985. Mapa geotécnico y de riesgos geológicos para la ordenación urbana de Alcoy. Mapa de riesgos geológicos E:1/25.000, 1/2.500 y 1/1.000.
- IGN, 2022b. National Geographic Institute (IGN). Spanish Seismic Catalog. <https://doi.org/10.7419/162.03.2022>. Último acceso: 21 de abril de 2022.
- IGN, 2022a. National Geographic Institute (IGN). Terremotos más importantes. <https://www.ign.es/web/ign/portal/terremotos-importantes>. Último acceso: 24 de abril de 2022.
- Keefer, D.K., 1984. Landslides caused by earthquakes. *GSA Bulletin*, 95: 406-421.
- Martino, S., Battaglia, S., Delgado, J., Esposito, C., Martini, G. and Missori, C., 2018. Probabilistic Approach to Provide Scenarios of Earthquake-Induced Slope Failures (PARSIFAL) Applied to the Alcoy Basin (South Spain). *Geosciences*, 8: 57.
- Pastor, J. L., Tomas, R., Lettieri, L., Riquelme, A., Cano, M., Infante, D., Ramondini, M. and di Martire, D., 2019. Multi-Source Data Integration to Investigate a Deep-Seated Landslide Affecting a Bridge. *Remote Sensing*, 11: 1878.
- Rueda, J. and Mezcuá, J., 2002. Estudio del terremoto de 23 Septiembre de 2003, Pego (Alicante). Obtención de una relación mbLg-M_w para la Península Ibérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 15:159–73.
- Szeibert, W.T., 2022. Characterization and geotechnical modelling of a landslide intersecting road N-340 (Alcoy). Máster de Ingeniería Geológica. Universidad de Alicante. 69 pp.