

Interreg
Sudoe



Desarrollo de herramientas para
prevenir y gestionar los riesgos en
la costa ligados al cambio
climático



**Actividad E2.1.1: Informe técnico sobre los inventarios
de movimientos de ladera en la provincia de Granada**

**Informe del GT2: Cartografías de riesgo para la planificación urbanística y
territorial**

Due date of deliverable: 30/09/2020
Actual submission date: 31/08/2020

Lead contractor for this deliverable: IGME

Autores

Cristina Reyes, Rosa María Mateos, Roberto Sarro, Eduardo Peña, Mónica
Martínez, Jorge Pedro Galve, José Miguel Azañón, Agustín Millares, Juan
Martín, Pedro Martín, Santiago Martín

Project funded by the Interreg Sudoe Programme through the European
Regional Development Fund (ERDF)



Índice

1	INTRODUCCIÓN	3
2	CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO.....	5
3	INVENTARIO DE MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA PROVINCIA DE GRANADA	7
3.1	La base de datos MOVES.....	7
3.2	Mapa inventario de movimientos de ladera	8
4	EVALUACIÓN DE DAÑOS DERIVADOS DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA	12
5	CONCLUSIONES	13
6	REFERENCIAS.....	13

1 INTRODUCCIÓN

La actividad 2.1.1 del GT 2 de RISKCOAST tiene como finalidad presentar un informe sobre los inventarios de movimientos del terreno existentes en las zonas de estudio seleccionadas dentro del territorio SUDOE de España. Estas zonas son la provincia de Granada (Comunidad Autónoma de Andalucía) y la isla de Mallorca (Islas Baleares). En el presente informe, se abarcarán los inventarios existentes en la provincia de Granada. El informe va acompañado de una serie de mapas y figuras que ayudan a la comprensión de su contenido. El informe va acompañado de una serie de mapas y figuras que ayudan a la comprensión de su contenido.

Las primeras investigaciones sobre los movimientos del terreno o de ladera en la provincia de Granada fueron los trabajos de Macau (1962) y Macau (1963), en los que se presenta un mapa-inventario provincial a escala 1:200.000 y una memoria descriptiva de zonas en las que se documentaron problemas de inestabilidad en las laderas, así como daños y reparaciones en consecuencia de ello. Esta primera información señala que los movimientos de ladera ocurren con especial frecuencia en la franja meridional de La Alpujarra y la Costa Granadina.

Años después, en 1987, se publica el Mapa de Movimientos del Terreno de la provincia de Granada a escala 1:100000 (MOPU, 1987). Además, se realiza una primera estimación de la incidencia de los movimientos de ladera en España, en la cual se asigna a la mayor parte de la provincia de Granada multitud de áreas con un porcentaje desde 30% hasta 60% de incidencia por inestabilidad de laderas.

El desarrollo por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) del Mapa Geológico de España (MAGNA) a 1:50.000 por el Instituto Geológico y Minero de España permitió que en algunas de las hojas de la provincia de Granada se mencionase o incluso se incorporasen a la cartografía indicios de movimientos de ladera. Esto tan solo ocurre en 5 hojas (991 Iznalloz, 1010 La Peza, 1008 Montefrío, 1009 Granada y 1025 Loja) de las 25 que componen la provincia de

Granada. Por lo que, en general, el MAGNA 1:50.000 no recoge la dinámica de movimientos de ladera como unidad cartografiada. Por el contrario, el Mapa Geotécnico General de España a escala 1:200.000, también desarrollado por el IGME, ofrece información más amplia referente a las zonas inestables, distinguiéndose tres dominios o regiones en la provincia de Granada a los que se les atribuye un grado más alto o bajo de incidencia por procesos de inestabilidad.

A partir de los años 80 y hasta la actualidad, se inicia la publicación de resultados de las investigaciones realizadas por distintos grupos de la Universidad de Granada sobre inestabilidad de laderas en la provincia. La mayoría de los trabajos se centran en casos o movimientos de ladera específicos e investigaciones detalladas sobre un sector reducido. Algunos ejemplos son los trabajos realizados por Chacón (1983), Chacón (1988), Chacón y López-Galindo (1988), Chacón y Rodríguez (1988) o Mateos y Ferrer (1994). Asimismo, se realizan tesis doctorales especializadas en distintas áreas de la provincia: Irigaray (1995), Fernández del Castillo (2001) y El Hamdouni (2002). Toda esta recopilación bibliográfica y cartográfica se recopila, posteriormente, en el Atlas sobre “Los movimientos de ladera de la provincia de Granada” (Chacón et al. 2007). A raíz de estos trabajos, se han aplicado posteriormente otro tipo de análisis, tales como análisis de susceptibilidad (Jiménez-Perálvarez, 2011).

Durante la última década, la mayoría de los trabajos se han focalizado en la aplicación de nuevas técnicas, tales como interferometría de satélite radar, fotogrametría con drones o LIDAR, para la monitorización de movimientos de ladera, especialmente aquellos que afectan a infraestructuras o urbanizaciones. Algunas de las zonas abarcadas en estos trabajos son La Alpujarra (Fernández et al. 2017), la costa de Granada (Mateos et al. 2017, Galve et al. 2017) y otras zonas del interior de la provincia, como el embalse de Rules (Reyes-Carmona et al. 2020).

Todos estos antecedentes llevan a que la provincia de Granada haya sido seleccionada como una de las zonas de estudio del proyecto RISKCOAST.

2 CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

La provincia de Granada se ubica en el sureste de España y pertenece a la comunidad autónoma -y región SUDOE (código ES614)- de Andalucía. Su superficie es de 12,635 km² y su población es 914,678 habitantes. Los principales núcleos de población son Granada capital y su Área Metropolitana (55%), la Costa Granadina (10,5%) con los municipios de Motril y Almuñécar, segundo y tercer núcleos de población provincial respectivamente tras la capital, y las zonas interiores de Guadix, Baza y Loja. El pico más alto de la Península Ibérica, el Mulhacén (3,482 m) está situado en la provincia de Granada, en el Parque Nacional de Sierra Nevada.

Geológicamente, la provincia de Granada está ubicada en el sector central de la Cordillera Bética, la cual corresponde al segmento más occidental del cinturón orogénico alpino. Los tres dominios geológicos béticos que se encuentran en la provincia de Granada son los siguientes (Vera, 2004) (Figura 1):

- Las Zonas Externas, formadas por sucesiones de rocas sedimentarias deformadas de edad Triásico hasta Mioceno. Las litologías más abundantes son las calizas del Jurásico y las margas del Cretácico. Se localizan al norte y oeste de la provincia de Granada.
- Las Zonas Internas, formadas por rocas mayoritariamente metamórficas de edad Paleozoico hasta Triásico. Se diferencian tres complejos tectónicos superpuestos: el Nevado-Filábride, el Alpujárride y el Maláguide. El Complejo Nevado-Filábride aflora en las zonas más altas de Sierra Nevada y está compuesto por micaesquistos, cuarcitas, gneises y anfibolitas. El Complejo Alpujárride se distribuye por toda La Alpujarra y Costa Granadina y está compuesto por filitas, micaesquistos y mármoles.
- Las Cuencas Neógeno-Cuaternarias, desarrolladas en el contacto entre Zonas Internas y Externas durante las etapas tardías de la deformación alpina desde el Neógeno hasta la actualidad. Están formadas por sucesiones de rocas sedimentarias detríticas. Las cuencas que se

encuentran en la provincia de Granada son la propia Cuenca de Granada y la Cuenca de Guadix-Baza.

La deformación principal de la cordillera Bética comenzó en el Mioceno inferior e implica, inicialmente, un desplazamiento hacia el oeste del Dominio de Alborán (Complejo Alpujárride + Complejo Maláguide) que colisionó con el paleomargen sudeste del macizo Ibérico y Zonas Externas, provocando su deformación (e. g. Balanyá y García-Dueñas, 1987; Platt et al., 2013 y referencias en su interior). El Complejo Nevado-Filábride sería parte del basamento del paleomargen del Macizo Ibérico que subdujo bajo el Dominio de Alborán (Gómez-Pugnaire et al., 2012). Los relieves actuales se generaron principalmente a partir del Tortoniense como resultado de una compresión y extensión perpendicular asociada, ligada a la convergencia oblicua entre las placas tectónicas de África e Iberia (Galindo-Zaldívar et al., 2015). Los diferentes procesos de deformación generaron la exhumación y deformación de las rocas metamórficas de las Zonas Internas, que continúa hasta la actualidad (Morales *et al.*, 1990; Martínez-Martínez *et al.*, 2006). Así, los procesos de compresión generaron grandes antiformes que se corresponden con los relieves mayores, como Sierra Nevada y sinformes correspondientes asociados a cuencas o depresiones, como la Cuenca de Granada, donde se depositaron los materiales Neógeno-Cuaternarios.

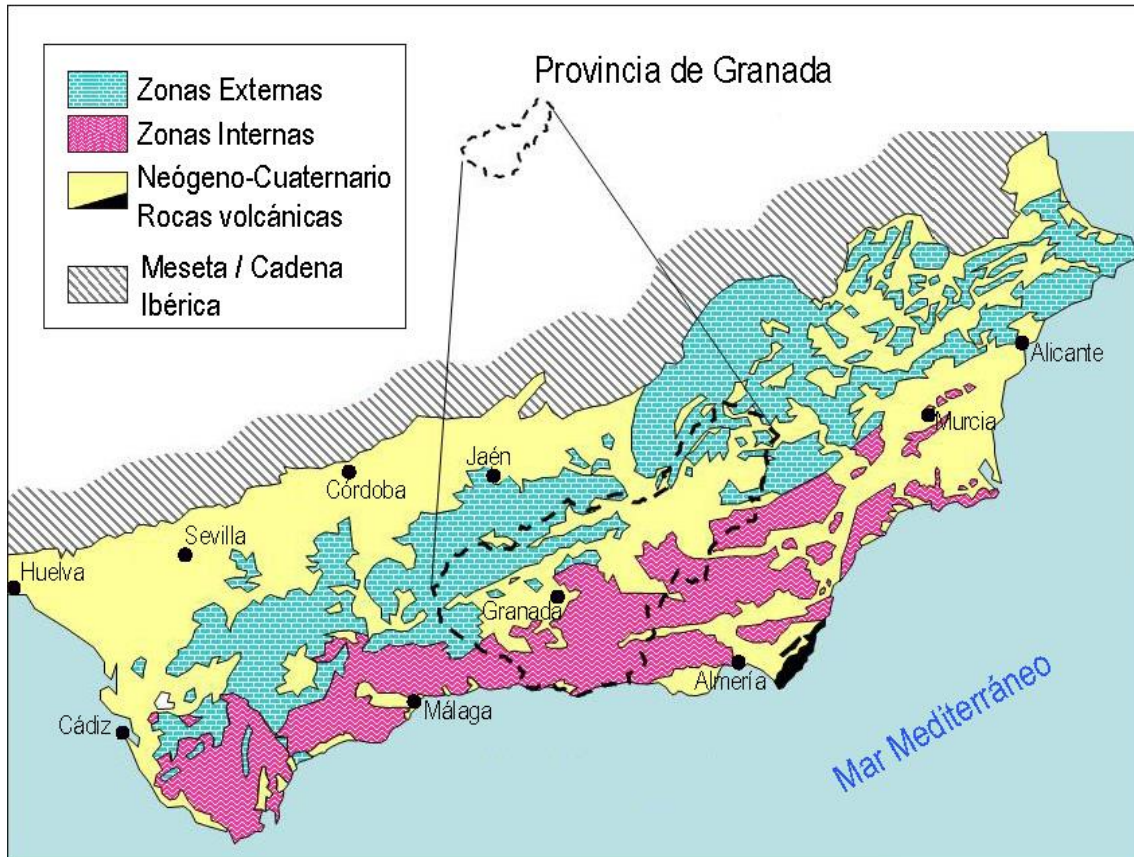


Figura 1. Mapa de los principales dominios geológicos de la Cordillera Bética (sur de España) y localización de la provincia de Granada.

3 INVENTARIO DE MOVIMIENTOS DE LADERA EN LA PROVINCIA DE GRANADA

3.1 La base de datos MOVES (IGME)

La base de datos de movimientos del terreno en España BS-MOVES, contiene movimientos del terreno de origen geológico gravitacional que afectan al territorio español. La gestión de esta base de datos está en manos del Instituto Geológico y Minero de España y fue elaborada en el año 2016. Se incluyen en ella movimientos de ladera como deslizamientos, desprendimientos, flujos, movimientos verticales como subsidencia, colapsos, expansividad y deslizamientos submarinos. No incluye movimientos de origen tectónico, como los producidos por terremotos o de origen volcánico.

La base de datos BS-MOVES recopila, por un lado, información referida a la descripción de las características propias intrínsecas del movimiento del terreno y, por otro lado, información referida a los factores desencadenantes de los movimientos.

La información básica e imprescindible de la base de datos MOVES es la siguiente:

- Tipo de movimiento: desprendimiento, deslizamiento, expansión lateral, flujo, movimientos verticales (subsistencia, colapso), etc.
- Material: roca, derrubio, tierra.
- Distribución de la actividad: constante, retrogresivo, multidireccional, etc.
- Estado de actividad: activo, reactivado, latente o dormido, estabilizado, relicto, etc.
- Método utilizado para determinación del movimiento y su actividad: fotointerpretación, estudios de campo, monitorización, datos históricos, etc.

Además, la BS-MOVES contiene otras capas de información más detallada obtenida mediante estudios específicos, tales como litología (rocas carbonatadas, rocas básicas, rocas metamórficas con foliación, etc.), litotecnia (roca blanda, roca dura, suelo granular, etc.), estructura (masiva, estratificada, fracturada, etc.), tipo de discontinuidad (falla, diaclasa, etc.), orientación de las discontinuidades y alteración, así como usos del suelo asociados al movimiento del terreno.

3.2 Mapa inventario de movimientos de ladera

En el presente informe se presenta la información recopilada de la base de datos MOVES referida **exclusivamente al tipo de movimiento del terreno** en la provincia de Granada. Esta información se ilustra en mapas que muestran la distribución espacial y tipología, con distintos colores y/o simbología, de cada movimiento del terreno cartografiado.

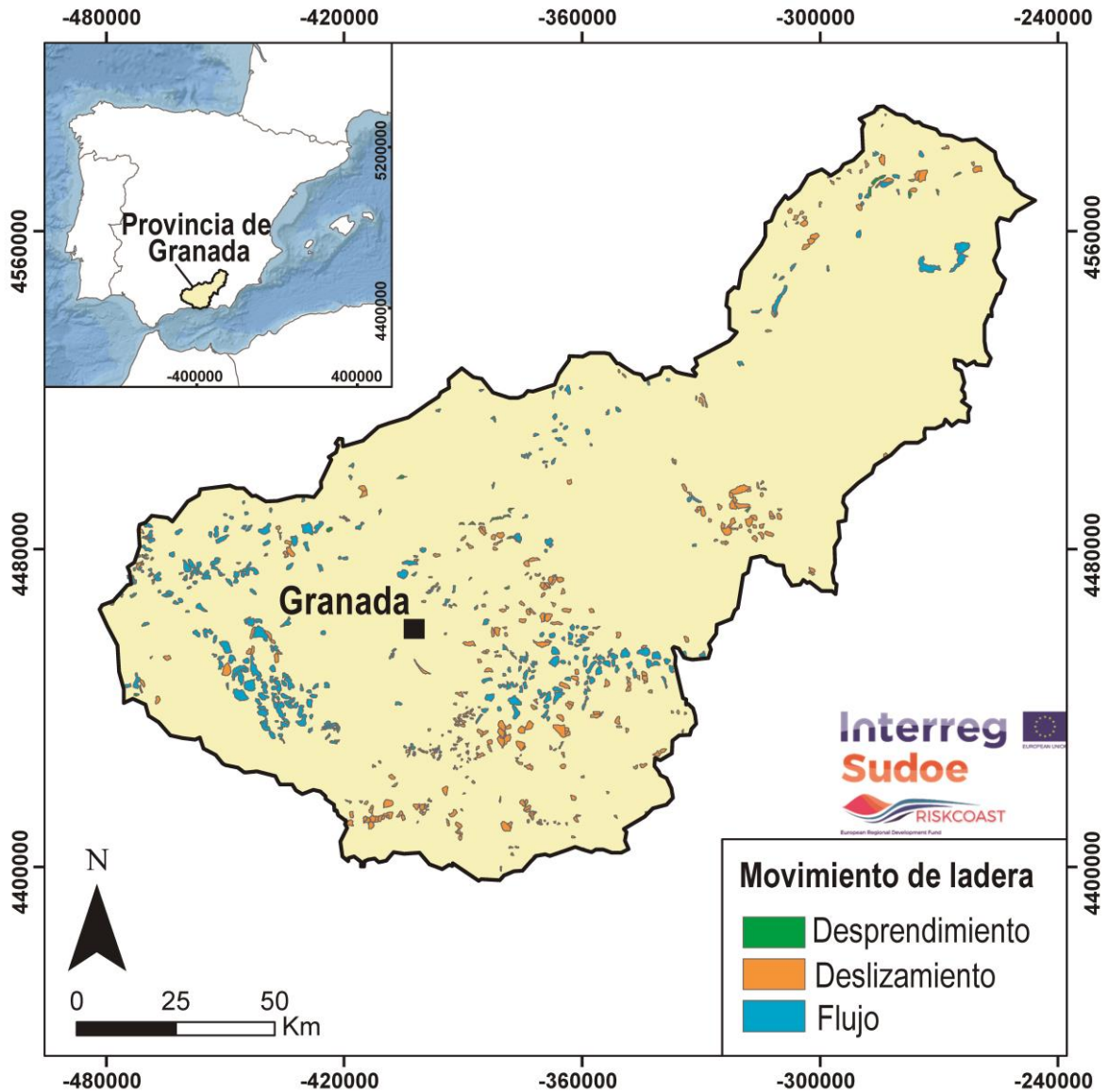


Figura 2. Mapa de movimientos de ladera en la provincia de Granada realizado a partir de la información de polígonos de la base de datos MOVES.

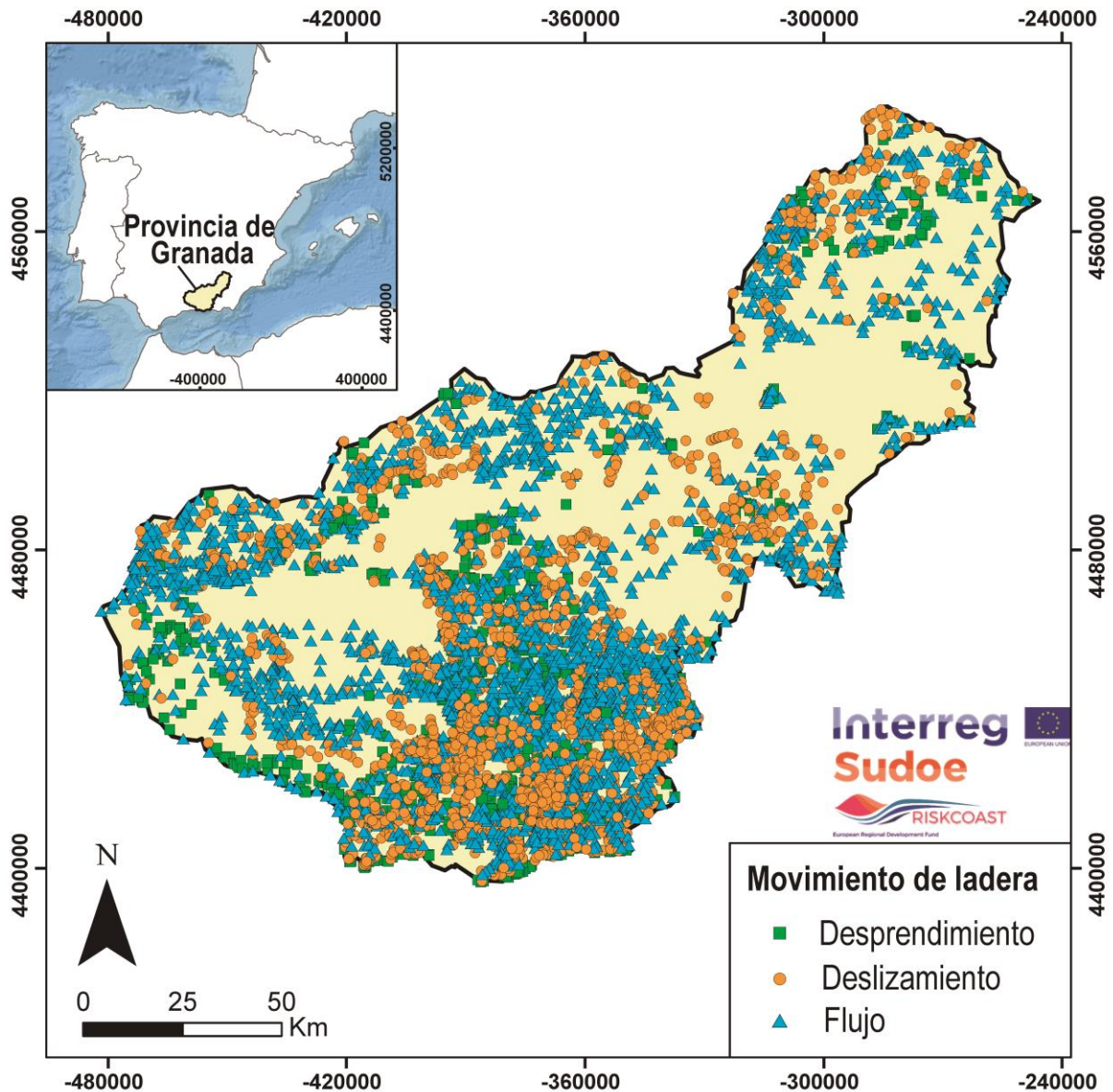


Figura 3. Mapa de movimientos de ladera en la provincia de Granada realizado a partir de la información de puntos de la base de datos MOVES.

La información obtenida de la base de datos MOVES para la provincia de Granada se corresponde con:

- Información de polígonos. Movimientos del terreno cuya masa deslizada ha sido cartografiada y delimitada espacialmente (Figura 2). Se han documentado un total de 736 movimientos del terreno de los cuales 39 son desprendimientos (5%), 364 son deslizamientos (50%) y 333 son flujos (45%) (Figura 4).

- Información de puntos. Movimientos del terreno cuya extensión no ha sido delimitada, pero se conoce la existencia de inestabilidad y/o se han documentado eventos en la zona en cuestión (Figura 3). Se han documentado un total de 5646 movimientos del terreno de los cuales 1034 son desprendimientos (19%), 1759 son deslizamientos (31%) y 2849 son flujos (50%) (Figura 4).

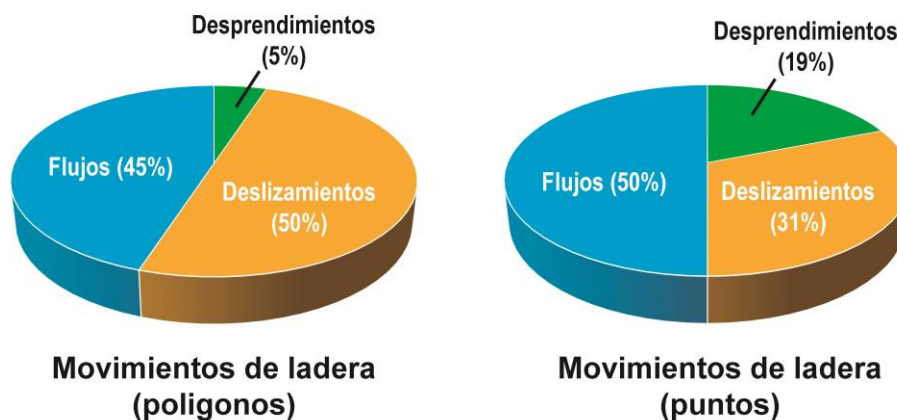


Figura 4. Mapa de movimientos del terreno en la provincia de Granada realizado a partir de la información de puntos de la base de datos MOVES.

Los datos conjuntos de polígonos y puntos indican que los flujos (50%) seguidos de los deslizamientos (33%) son las tipologías predominantes en la provincia de Granada. Los **flujos** abundan en las series arenosas y limosas menos coherentes de las Cuencas Neógeno-Cuaternarias, así como en el contacto entre estos materiales con los del Complejo Alpujárride (Zonas Internas). También se generan flujos asociados a las series margosas del Cretácico de las Zonas Externas y en menor medida, se generan flujos en los esquistos y filitas alpujárrides (cuando se encuentran muy alteradas) en las laderas y barrancos de Sierra Nevada. Los **deslizamientos**, tanto rotacionales como traslacionales, abundan en las Zonas Internas; concretamente en el Complejo Alpujárride, asociados a los contactos litológicos entre las rocas carbonatadas y las filitas de dicho complejo. También son abundantes en los materiales de las cuencas Neógeno-Cuaternarias, entre las que abundan materiales arcillo-limosos sobre los que se deslizan materiales más compactos

como calcarenitas o conglomerados cementados. Los **desprendimientos** se concentran en los escarpes de las laderas de Sierra Nevada, que están afectadas por procesos de gelifracción intensos por encima de los 2100 metros y por una fuerte erosión fluvial que favorece los descalces y consecuente caída de rocas. También son frecuentes en las rocas carbonadas jurásicas de las Zonas Externas.

4 EVALUACIÓN DE DAÑOS DERIVADOS DE LOS MOVIMIENTOS DE LADERA

Desde principios del siglo XX, han tenido lugar varios periodos lluviosos que ha dado lugar a movimientos en masa, muy frecuentemente de tipo de flujo, y que han generado y generan daños de forma sistemática en determinadas localizaciones. Así, se reconocen zonas inestables en la Costa de Granada de cierta amplitud entre las localidades litorales de Calahonda y Castell de Ferro, así como en la Rábita, que afectan a la carretera nacional N-340. Asimismo, desde La Herradura hasta Salobreña existen numerosos indicios de inestabilidad de ladera (en algunos casos, deslizamientos cartografiados) en multitud de laderas costeras y que afectan a urbanizaciones conocidas tales como Cármenes del Mar, Marina del Este, Alfamar, Monte Almendros y Costa Aguilera. Estas urbanizaciones se construyeron, en su mayoría, durante los años 90 y especialmente en la última década, sus viviendas y carreteras han sufrido numerosos daños (grietas, hundimientos). Destaca el caso de la urbanización de Cármenes del Mar, envuelta en un proceso judicial desde octubre de 2013. En noviembre de 2015, 42 viviendas tuvieron que ser evacuadas y actualmente, parte de la urbanización está desalojada y numerosas viviendas presentan graves daños estructurales (Mateos et al. 2017).

En el interior de la provincia de Granada, destacan los daños conocidos en la carretera de La Alpujarra en localidades alpujarreñas tan conocidas como Lanjarón, Órgiva, Carataunas o Trevélez. También son conocidos los daños en las carreteras del tramo del barranco de Torvizcón y del río Guadalfeo. En este último caso, la carretera nacional N-323 se ve continuamente afectada en el

tramo de Ízbor-Vélez de Benaudalla en su paso por el Embalse de Rules, por hundimientos, grietas y baches; siendo necesario el continuo reasfaltado de la misma. En el entorno del Embalse de Rules, además, existen varios deslizamientos que afectan a la autovía A-44, principal vía que conecta la Costa de Granada con la capital granadina, y cuya construcción fue especialmente dificultosa debido a los problemas por inestabilidad de las laderas. Dada la gran cantidad de reparaciones necesarias durante su construcción, este tramo de autovía resultó ser el tramo de autovía más caro de España en el momento de su inauguración, en 2009. Otro caso conocido del interior de la provincia es el deslizamiento de Diezma, que al reactivarse en 2001 movilizó una colada de barro que afectó a la autovía A-92 en el tramo Granada-Guadix. En la actualidad, la apertura de grietas se mantiene en la cabecera del deslizamiento, en una ladera cuya estabilidad se ha corregido junto al trazado de la autovía. En la Figura 5, se muestran algunos ejemplos significativos de movimientos de ladera en la provincia de Granada.



Fig. 5. Ejemplos significativos de movimientos de ladera en la provincia de Granada

5 CONCLUSIONES

La provincia de Granada es muy montañosa y con una compleja geología resultado de la orogenia Alpina. Estas características determinan una gran proliferación y recurrencia de los movimientos de ladera de todas las tipologías posibles. La base de datos recoge 5646 eventos distribuidos principalmente en Sierra Nevada y su contorno, las mayores elevaciones de la Península Ibérica.

Los flujos son el tipo de movimiento de ladera más abundante de la provincia de Granada. Estos tienen lugar en los materiales menos competentes, como arenas y limos y se generan, principalmente, en el contacto entre Zonas Internas y las cuencas neógenas. Los deslizamientos son la tipología más abundante tras los flujos y se generan, de forma más abundante, en las Zonas Internas y muy especialmente en la orla del Alpujarride. Los desprendimientos suponen una minoría dentro del total inventariado de movimientos de ladera.

6 REFERENCIAS

- Balanyá, J.C. y García-Dueñas, V. (1987): Structural trends of the Alboran Domain on both sides of the Straits of Gibraltar. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série 2*, vol. 304 (15): 929-932.
- Chacón, J. (1983). Mapa geotécnico de la cuenca del Río Adra. Lucdeme. IRIDA. 1 memoria, 32 pp. y 2 mapas, 1:25.000. Málaga
- Chacón, J. (1988). Riesgos geológicos en Andalucía. II Congreso Geológico de España. Comunicaciones. Universidad de Granada. Vol. 2, pp. 507-515. Granada.
- Chacón, J. y López-Galindo, A. (1988). El deslizamiento de Olivares (Moclín, Granada): Geología, composición mineralógica y evolución dinámica durante los 15 primeros días. En: ALONSO, E. y COROMINAS, J. (eds.) II Simposio Nacional de Taludes y Laderas Inestables. pp. 723-731. Andorra.
- Chacón, J. y Rodríguez, I. (1988). Diferenciación de movimientos de ladera en el sector de Olivares (Moclín, Granada). II Congreso Geológico de España. Comunicaciones. Universidad de Granada. Vol. 2, pp. 325-329. Granada.
- Chacón, J., Irigaray, C., y Fernández, T. (2007). Los movimientos de ladera de la Provincia de Granada. Atlas de Riesgos Naturales en la Provincia de Granada. Diputación de Granada–Instituto Geológico y Minera de España, Madrid

- Fernández, T., Pérez, J. L., Colomo, C., Cardenal, J., Delgado, J., Palenzuela, J. A., Irigaray, C. y Chacón, J. (2017). Assessment of the evolution of a landslide using digital photogrammetry and LiDAR techniques in the Alpujarras region (Granada, southeastern Spain). *Geosciences*, 7(2), 32.
- Galindo-Zaldívar, J., Gil, A.J., Sanz de Galdeano, C., Lacy, M.C., García-Armenteros, J.A., Ruano, P., Ruiz, A.M., Martínez-Martos, M. y Alfaro, P. (2015): Active shallow extension in central and eastern Betic Cordillera from CGPS data. *Tectonophysics*, 663: 290-301.
- Galve, J. P., Pérez-Peña, J. V., Azañón, J. M., Closson, D., Caló, F., Reyes-Carmona, C., Jabaloy, A., Ruano, P., Mateos, R.M., Notti, D., Herrera, G., Béjar-Pizarro, M., Monserrat, O. y Bally, P (2017). Evaluation of the SBAS InSAR service of the European space Agency's Geohazard Exploitation Platform (GEP). *Remote Sensing*, 9(12), 1291.
- Jiménez-Perálvarez, J. D., Irigaray, C., El Hamdouni, R., y Chacón, J. (2011). Landslide-susceptibility mapping in a semi-arid mountain environment: an example from the southern slopes of Sierra Nevada (Granada, Spain). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70(2), 265-277.
- Macau, F. (1962). Mapa de los movimientos del terreno de la provincia de Granada, 1:200.000. Servicio Geológico de Obras Públicas. Barcelona.
- Macau, F. (1963). Previsión de los movimientos del terreno. Informaciones y estudios. Servicio Geológico de Obras Públicas del MOP. Boletín nº 16, 83 p.
- Martínez-Martínez, J.M., Booth-Rea, G., Azañón, J.M. y Torcal, F. (2006): Active transfer fault zone linking a segmented extensional system (Betics, southern Spain): Insight into heterogeneous extension driven by edge delamination. *Tectonophysics*, 422: 159-173.
- Mateos, R. y Ferrer, M. (1994). Methodology for landslides hazard map 1 :10.000 in the area of Monachil (Granada, Spain). VIIth IAEG Congress, Lisboa, vol. 3, pp.2059-2064, E.Balkema, Rotterdam.
- Mateos, R. M., Azañón, J. M., Roldán, F. J., Notti, D., Pérez-Peña, V., Galve, J. P., Pérez-García, J.L., Colomo, C.M., Gómez-López, J.M., Montserrat, O., Devantèry, N., Lamas-Fernández, F y Fernández-Chacón, F. (2017). The combined use of PSInSAR and UAV photogrammetry techniques for the analysis of the kinematics of a coastal landslide affecting an urban area (SE Spain). *Landslides*, 14(2), 743-754.
- MOPU (1987). Mapa de movimientos del terreno de la provincia de Granada a escala 1:100.000
- Morales, J., Vidal, F., De Miguel, F., Alguacil, G., Posadas, A.M., Ibañez, J.M., Guzmán, A. y Guirao, J.M. (1990): Basement structure of the Granada basin, Betic Cordilleras, Southern Spain. *Tectonophysics*, 177: 337-348.
- Platt, J.P., Behr, W.M., Johannesen, K., y Williams, J.R. (2013): The Betic–Rif arc and its orogenic hinterland: a review. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 41: 313-357.
- Reyes-Carmona, C., Barra, A., Galve, J. P., Monserrat, O., Pérez-Peña, J. V., Mateos, R. M., Notti, D., Ruano, P., Millares, A., López-Vinielles, J. y Azañón, J. M. (2020). Sentinel-1 DInSAR for Monitoring Active Landslides

in Critical Infrastructures: The Case of the Rules Reservoir (Southern Spain). Remote Sensing, 12(5), 809.
Vera, J.A., (Ed) (2004). Geología de España. SGE-IGME, Madrid.