

Los deslizamientos de la cuenca baja del Río Darro (Granada, España)

Landslides in the lower part of the Darro's River Basin (Granada, Spain)

Tatiana Ferreira Borda, Rosa María Mateos y Francisco Javier Roldán

Instituto Geológico y Minero de España, Unidad de Granada. Urbanización Alcázar del Genil, 4. Edificio Zulema, bajo. 18006 Granada, España.
ferreira.bit@gmail.com, rm.mateos@igme.es, fj.rolدان@igme.es

ABSTRACT

The lower part of the Darro River basin, in the urban fringe of Granada, shows numerous mass-movements, mainly landslides and earth-falls. The Jesús del Valle landslide was triggered by intense and long-lasting rain in January 2010, and currently is still active. It can be classified as a complex movement- planar landslide and earth flow- which affects an area of 50,000 m². In the present work a landslide inventory has been constructed in the area. The slope-movement typology is clearly related to the exposed material, and the landslides occur in areas where a silty formation crops out. Mass-movements affect 12% of the total area. In addition, a stability back-analysis of the Jesús del Valle landslide has been carried out, considering the most negative scenario and applying the limit equilibrium method (Slide 5.0). The results coincide with the evolution of the landslide, as the head scarp has retreated to the top of the slope and the landslide body has widened towards its eastern flank.

Key-words: Landslide, back-analysis, Darro River, Granada.

RESUMEN

La cuenca baja del Río Darro, en el entorno periurbano de Granada, presenta numerosos movimientos de ladera, destacando los deslizamientos y los desprendimientos de tierras. Cabe resaltar el deslizamiento de Jesús del Valle, desencadenado en enero de 2010 por intensas y persistentes lluvias y que aún permanece activo. Se trata de un movimiento complejo- deslizamiento planar con flujo de tierras- que afecta a una superficie de olivar de unos 50.000 m². En el presente trabajo se realiza un inventario de movimientos de ladera en la cuenca baja del Río Darro, pocos kilómetros aguas arriba de la ciudad de Granada. Las tipologías de movimientos están directamente condicionadas por los materiales aflorantes. En el caso de los deslizamientos aparecen siempre relacionados con afloramientos de limos. Los movimientos de ladera afectan a un 12% de la superficie total del área de estudio. Adicionalmente, se ha realizado un análisis retrospectivo de la estabilidad del deslizamiento de Jesús del Valle (Slide 5.0), considerando la saturación completa de los materiales y aplicando el método del equilibrio límite. Los resultados obtenidos, considerando dos escenarios diferentes de evolución del deslizamiento, concuerdan con la evolución observada; retroceso del deslizamiento hacia la cabecera y extensión hacia el flanco oriental.

Palabras clave: Deslizamientos, análisis retrospectivo, Río Darro, Granada.

Geogaceta, 57 (2015), 103-106.
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 10 de julio de 2014
Fecha de revisión: 22 de octubre de 2014
Fecha de aceptación: 28 de noviembre de 2014

Introducción

El Río Darro nace en la Sierra de Huétor Santillán, entre los dominios geológicos de las Zonas Internas y Externas de las Cordilleras Béticas, y discurre por la Depresión de Granada hasta unirse al Río Genil en la propia ciudad de Granada. El Darro y su red tributaria determinan una cuenca con vertientes escarpadas, dominio de acarcamientos, cauces muy encajados y numerosos deslizamientos y desprendimientos que afectan a las laderas de ambas riberas. Cabe destacar el deslizamiento de Jesús del

Valle, en la margen izquierda del Río Darro, y a escasos kilómetros aguas arriba de la Alhambra. Este deslizamiento se desencadenó en enero de 2010 tras un periodo prolongado de intensas lluvias en la zona. El deslizamiento aún sigue activo y recientemente se han acometido obras para estabilizar su cabecera, ante el peligro de afectar al Canal de los Franceses, la principal conducción de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Granada.

En el presente trabajo se analizan los movimientos de ladera que afectan a la cuenca baja del Río Darro, en el entorno pe-

riurbano de la ciudad de Granada, y se realiza un análisis retrospectivo de la estabilidad de uno de ellos, el deslizamiento de Jesús del Valle, mediante el método de equilibrio límite empleando el programa de Rocscience SLIDE 5.0.

Marco geológico

La zona de estudio se encuentra situada en el extremo oriental de la Depresión de Granada, que comenzó su individualización y relleno en el Neógeno, a partir del Serravalliense superior-Tortonense inferior (Rol-

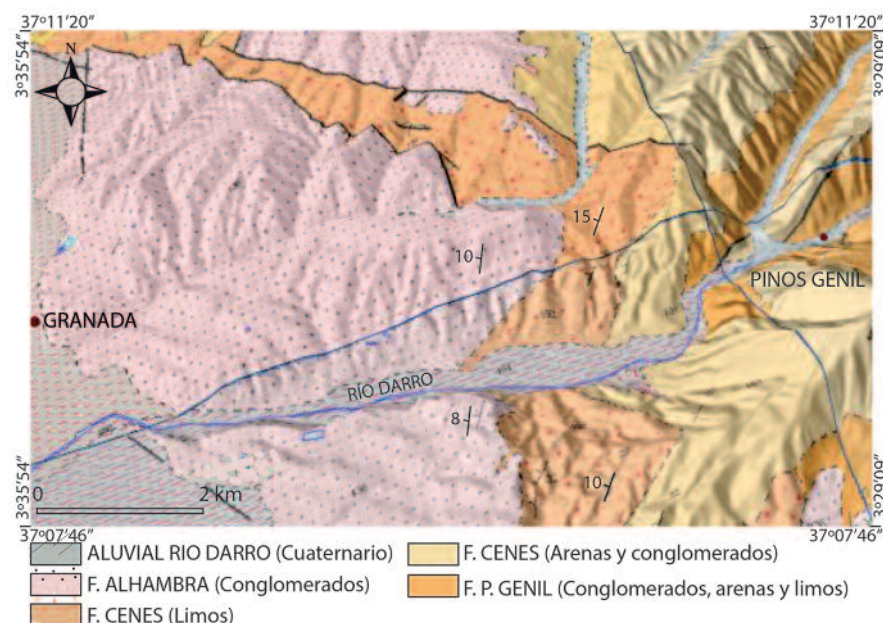


Fig. 1.- Mapa geológico de la zona de estudio

Fig. 1.- Geological map of the area.

dán *et al.*, 2012). Los materiales que predominan en la zona corresponden a potentes paquetes de conglomerados de facies aluviales y fan-delta, que registran diferentes pulsos del levantamiento tectónico de Sierra Nevada a partir del Mioceno superior (Roldán *et al.*, 2014). A lo largo de la cuenca baja del Río Darro, de E-O, se pueden identificar dos formaciones principales (Fig. 1): La Formación Dúdar-Pinos Genil (García-García *et al.*, 1999) y la Formación Alhambra.

La *Formación Pinos Genil*, del Mioceno superior, presenta facies de conglomerados en el sector NO y afloramientos de limos en la zona central del área de estudio. La mayoría de los deslizamientos identificados se relacionan con los afloramientos de limos micáceos, y que localmente reciben el nombre de *limos de Cenés* (Fig. 1).

Formación Alhambra (Plioceno), formada por potentes niveles de conglomerados redondeados y heterométricos con una matriz característica de color rojizo. Son materiales competentes que dan lugar a relieves abruptos y conforman las colinas donde se asienta la Alhambra y los barrios históricos del Sacromonte y Albayzín.

La disposición estructural de los materiales de las dos formaciones previamente descritas presenta un buzamiento generalizado, entre 10°-15°, hacia el Oeste.

Tapizando a las formaciones anteriores, se identifican los depósitos aluviales recientes del Río Darro; sedimentos constitui-

dos por gravas y arenas que dan lugar a terrazas aluviales a lo largo del curso fluvial.

Movimientos de ladera

A lo largo del año 2013 se realizó un inventario de movimientos de ladera en la cuenca baja del Río Darro, desde las inmediaciones de Jesús del Valle hasta la propia ciudad de Granada (Fig. 2). Los movimientos

se cartografiaron sobre una base topográfica 1: 10.000, representando su tipología y extensión. Se identifican dos tipos principales de movimientos:

Deslizamientos y flujos de tierras

Claramente condicionados por la litología, ya que aparecen siempre asociados a los afloramientos de limos Cenés- Jun, materiales de baja permeabilidad que pierden rápidamente su consistencia al saturarse en agua. Se han identificado en la zona deslizamientos recientes (aún activos) y antiguos (cubiertos por vegetación bien desarrollada). En todos los casos son deslizamientos profundos, con la superficie de rotura a más de 8 m de profundidad. Al pié de los deslizamientos se desarrollan flujos de tierras que, en numerosas ocasiones, han interceptado el curso del río, condicionando su sinuosidad. El deslizamiento de Jesús del Valle pertenece a esta tipología.

Desprendimientos de tierras

Se localizan en los afloramientos de conglomerados de ambas formaciones. Se generan por la apertura de las grietas y discontinuidades que afectan a estos materiales. Ocasionalmente se observan también pequeños flujos, cuando la proporción de la matriz fina de los conglomerados es mayor. Los desprendimientos de tierras son fre-

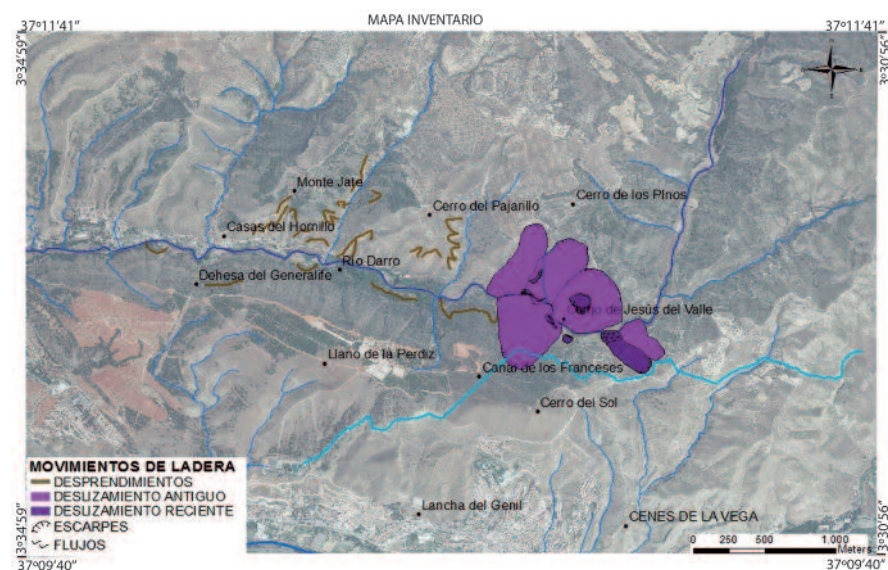


Fig. 2.- Inventario de movimientos de ladera

Fig. 2.- Landslide inventory map.

cuentas en la Formación Alhambra, especialmente en las zonas bajas de las laderas que flanquean el río y presentan una estrecha relación con la acción erosiva de la red de drenaje, así como con los procesos de arcavamiento.

Los movimientos de ladera cubren un 12% de la superficie total del área de estudio.

Deslizamiento de Jesús del Valle

El deslizamiento de Jesús del Valle se desencadenó en enero de 2010, tras un episodio de intensas y continuadas lluvias (Garrido y Delgado, 2013). Su actividad se ha mantenido en años posteriores: 2011, 2013 y 2014, asociado a una pluviometría entre un 25%-50% superior a la media.

Garrido y Delgado (2013) identificaron dos fases en el desarrollo del deslizamiento. Se inició en la parte central donde existía un manantial permanente que, sin duda, contribuyó a la saturación y debilitamiento de los materiales limosos que conforman la ladera. Este primer movimiento generó un flujo de tierras y barro al pie que taponó parcialmente el cauce del Río Darro, forzando su desplazamiento hacia el norte. Los autores también hacen referencia a una posible fuga en el Canal de los Franceses que pudo contribuir al desencadenamiento del deslizamiento.

Posteriormente, el deslizamiento ha ido ensanchándose progresivamente hacia el flanco oriental y retrocediendo hacia la cabecera, incrementando considerablemente la superficie afectada (Fig. 3). En la actualidad, la extensión del deslizamiento se cal-



Fig. 3.- Deslizamiento de Jesús del Valle. En la fotografía superior se observa la cabecera, y en la inferior el flanco oriental del movimiento, ambos activos.

Fig. 3.- Jesus del Valle landslide. The head of the landslide can be seen in the upper photo and the eastern flank in the lower one. The movement is still active.

cula en unos 50,000 m² y el volumen movilizado en 500,000 m³. Según información de sondeos, la superficie de rotura se localiza a una profundidad media de 9 m. El deslizamiento de Jesús del Valle se puede clasificar como un movimiento complejo (Cruden y Varnes, 1996): deslizamiento planar que da paso a un flujo caótico de tierras y barro en la base. El movimiento plantea

dos amenazas: por un lado la captura de la tubería de abastecimiento del Canal de los Franceses, que discurre a escasos metros aguas arriba del deslizamiento; y el taponamiento del Río Darro por el flujo de tierras en la parte inferior.

Las autoridades hidráulicas comenzaron, en mayo 2014, a acometer obras de estabilización del movimiento.

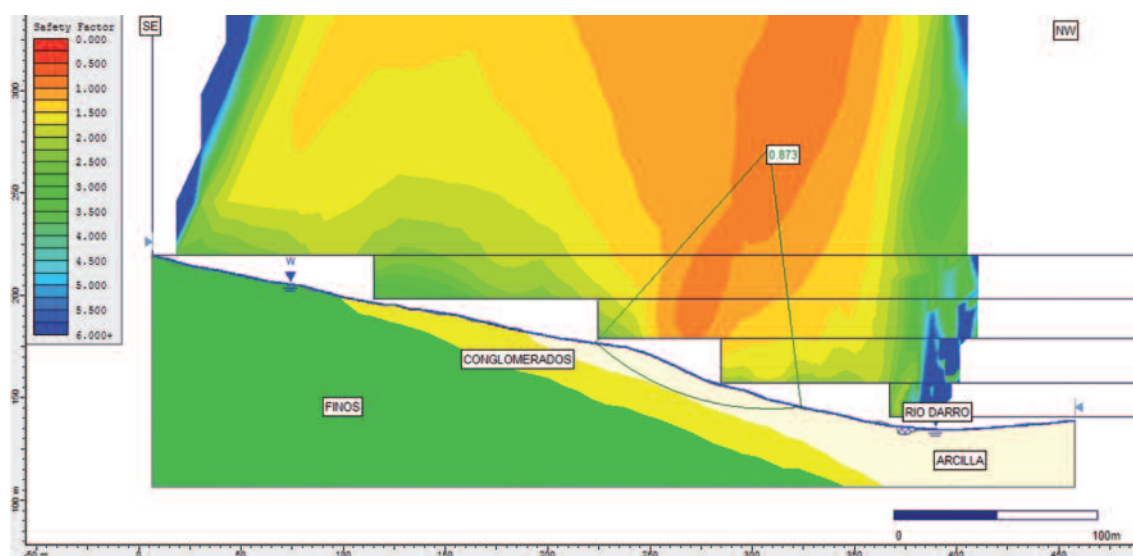
Análisis retrospectivo

Para el análisis retrospectivo de la ladera se utilizó el programa informático Slide 5.0 de Rocscience que permite obtener el factor de seguridad (FS) mediante diferentes métodos de equilibrio límite. Estos métodos se basan exclusivamente en las leyes de la estática, para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable, sin tener en cuenta las deformaciones internas del terreno y considerando que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de rotura. Los parámetros geotécnicos que requiere el programa (Tabla I), al igual que el perfil de la sección de la ladera, se obtuvieron a partir del trabajo previo realizado por Garrido y Delgado (2013).

El análisis simuló las dos etapas identificadas en la evolución del deslizamiento. El primer escenario incorporó el perfil de la ladera previo al deslizamiento (Fig. 4). En el segundo, se tuvieron en cuenta las modificaciones de la superficie del terreno tras el movimiento, así como el desplazamiento inducido al curso del río (Fig. 5). En ambos casos se consideró la saturación total de los materiales del terreno, suponiendo el nivel

Fig. 4.- Escenario 1 previo al deslizamiento. Análisis de estabilidad de la ladera en condiciones de saturación. Se identifica una superficie crítica en el sector central de la ladera, en la zona donde se inició el deslizamiento.

Fig. 4.- First scenario prior to the landslide occurrence and under saturated conditions. A critical sector in the central part of the slope is identified, where the landslide was started.



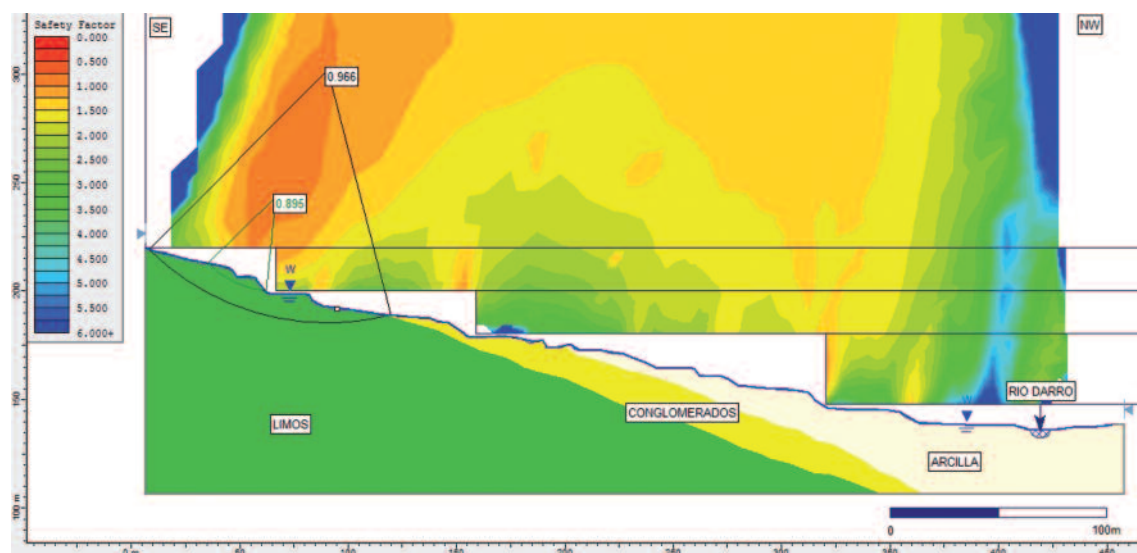


Fig. 5.- Escenario 2, después del movimiento inicial. Condiciones de saturación. La superficie de rotura crítica aparece en la parte superior de la ladera. El deslizamiento retrocedió hacia la cabecera.

Fig. 5.- Second scenario after the first movement. Saturated conditions. The critical failure surface appears at the top of the slope. It was a retrogressive landslide.

Material	Peso específico (kN/m ³)	Cohesión (kN/m ²)	Ángulo de rozamiento interno (°)
Limos	18,9	14,5	22
Conglomerados	20,0	9,50	31
Arcilla	19,0	15,1	22

Tabla I.- Parámetros geotécnicos utilizados en la modelización (según Garrido y Delgado, 2013).

Table I.- Geotechnical parameters used in the present modelling (based on Garrido and Delgado, 2013).

freático en la superficie de la ladera e iguales parámetros geotécnicos de resistencia para ambos escenarios.

Los resultados obtenidos con la modelización (Figs. 4 y 5) concuerdan con la evolución observada. En el primer caso, las condiciones más bajas de estabilidad ($F_s < 1$) tienen lugar en el sector central de la ladera, donde aparece el manantial. En el segundo caso, la superficie de rotura crítica ($F_s = 0,895$) se desplaza hacia la cabecera, tal y como ocurrió tras la generación del primer movimiento.

Conclusiones

La cuenca baja del Río Darro, en el entorno periurbano de la ciudad de Granada, presenta una intensa dinámica de laderas, con la ocurrencia de deslizamientos y desprendimientos de tierras en ambas vertientes del curso fluvial. Las tipologías de movimientos están claramente relacionadas

con las litologías aflorantes en la zona, que forman parte de dos formaciones geológicas de sedimentos aluviales: Formación Dúdar Pinos Genil y Formación Alhambra, de naturaleza principalmente conglomerática.

Los deslizamientos aparecen siempre ligados a los afloramientos de limos de la Formación Dúdar-Pinos Genil, que pierden su resistencia al saturarse en agua. La erosión causada por el río al pie de las laderas contribuye también a la inestabilidad.

El deslizamiento de Jesús del Valle es un deslizamiento activo en expansión, ampliándose los flancos y cabecera. Los análisis retrospectivos realizados con el programa Slide 5.0 muestran con claridad las dos etapas de su evolución, reflejando el desplazamiento de la superficie de rotura crítica hacia la cabecera de la ladera, amenazando así una de las principales tuberías de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Granada.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto Topobética "Relieve y procesos activos relacionados con la evolución tectónica de la Cordillera Bético-Rifeña". CGL2011-29920 del VII Plan Nacional de Investigación Científica.

Referencias

- Cruden, D.M. y Varnes, D.J. (1996). En: Landslides: investigation and mitigation (A.K. Turner, R.L. Schuster, Eds.) Chapter 3. Special report/Transportation Research Board, National Research Council. Pp: 36-75.
- García-García, F., Viseras, C. y Fernández, J. (1999). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 12, 199-208.
- Garrido, J y Delgado, J. (2013). *Landslides* 10, 83-89.
- Roldán, F.J., Rodríguez-Fernández, J., Villalobos, M., Lastra, J., Díaz-Pinto, G. y Pérez Rodríguez, A.B. (2012). En: *Zonas: Subbético, Cuenca del Guadalquivir y Campo de Gibraltar* (J. Navas, Ed.), GEODE, SIGECO, IGME, Madrid, 378 p.
- Roldán, F.J., Azañón, J.M. y Mateos, R.M. (2014). En: *EGU General Assembly 2014*, Vienna. Geophysical Research Abstract 16, EGU2014-5323, 2014.