

## Evolución del deslizamiento de Pajonales (Depresión de Tirajana, Gran Canaria): un caso de reactivación parcial progresiva

### *Development of the Pajonales landslide (Tirajana Depression, Gran Canaria): a case of progressive partial reactivation*

M. J. Rodríguez-Peces<sup>1</sup>, C. Fonollá<sup>1</sup> y J. Yepes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid. martinjr@geo.ucm.es

<sup>2</sup> Dpto. de Ingeniería Civil, IOCAG, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 35017 Las Palmas.

**Resumen:** Se ha estudiado la evolución de las distintas fases del deslizamiento de Pajonales (barranco de Tirajana, Gran Canaria), a partir de las características geotécnicas de los materiales volcánicos *in situ* y deslizados. Para ello, se recogieron muestras de piroclastos y suelos representativos de las masas deslizadas y se realizaron ensayos de identificación y resistencia al corte. Se ha reconstruido la morfología de la ladera previa al deslizamiento a partir de las superficies deslizadas y de los escarpes de primera y segunda generación. Mediante un programa de análisis del equilibrio límite se han identificado las superficies de rotura para cada una de las fases del deslizamiento. Estas superficies se han desarrollado a través de niveles limo-arcillosos, que son producto de la alteración de los materiales piroclásticos, y que presentan las propiedades geotécnicas más desfavorables (valores mínimos o residuales). Por otra parte, se verificó que la presencia de agua constituye un factor desencadenante del deslizamiento, ya que es necesaria la saturación total o parcial de los materiales. Por último, el deslizamiento es de tipo progresivo: a medida que se producen las sucesivas reactivaciones, las masas ya deslizadas se descomponen en otras más pequeñas que se desplazan, ladera abajo, hacia el centro del barranco.

**Palabras clave:** Deslizamiento, Ladera, Macizo rocoso, Tirajana, Gran Canaria.

**Abstract:** *We have studied the evolution of the different stages of Pajonales landslide (Tirajana ravine, Gran Canaria), from the geotechnical characteristics of in situ and mobilized volcanic materials. Representative samples of pyroclasts and soils from landslides were collected and laboratory tests were performed to determine the shear strength. The morphology of slope prior to sliding was reconstructed considering the location of the failure surfaces and scarps of first and second generation. Failure surfaces for each stage of sliding were identified using a program of limit equilibrium analysis. These surfaces have been developed through clayey silt levels that result from the alteration of pyroclastic materials, showing the most unfavourable geotechnical properties (minimal or residual values). Moreover, the presence of water is a triggering factor, since total or partial saturation of the materials is required. Finally, the landslide is a progressive type: as successive reactivations occur, the sliding masses are broken down into smaller ones moving towards the Tirajana ravine.*

**Key words:** *Landslide, Rock mass, Slope, Tirajana, Gran Canaria.*

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se estudia el deslizamiento de Pajonales, localizado en la Depresión de Tirajana, en el sur de Gran Canaria (Islas Canarias). Esta inestabilidad de ladera es especialmente relevante dentro de los numerosos deslizamientos presentes en Tirajana (Lomoschitz et al., 2002), por su gran tamaño (560 ha) y porque ha experimentado sucesivas reactivaciones, la última en 1956 tras un periodo de fuertes lluvias. El principal interés que presenta su estudio es conocer las condiciones en las que se pueden desarrollar este tipo de inestabilidades en otros sectores de la Depresión de Tirajana. Esto permitirá evaluar el riesgo que suponen, debido al gran volumen de terreno movilizado y a la proximidad de las poblaciones, algunas de ellas

asentadas sobre las masas deslizadas. Varias características son comunes a estos deslizamientos (Lomoschitz et al., 2002): a) la primera inestabilidad es un deslizamiento rocoso de grandes dimensiones, b) las superficies de rotura iniciales se encuentran en capas de materiales finos poco competentes (tobas, cenizas e ignimbritas), localizadas a gran profundidad, c) las sucesivas inestabilidades afectan a la masa ya deslizada y son deslizamientos de rocas o flujos de derrubios, y d) las superficies de rotura secundarias se desarrollan en capas de piroclastos que pertenecen a las formaciones de la primera inestabilidad.

La generación, el desarrollo y la reactivación de estos movimientos de ladera no se deben atribuir a la acción de un único factor, sino a la interacción

compleja de varios factores geológicos, geotécnicos y geomorfológicos. En este trabajo se ha estudiado la evolución de las distintas fases del deslizamiento de Pajonales y se han identificado los factores que han podido contribuir a su desarrollo y reactivación.

## METODOLOGÍA

A partir del perfil topográfico y la información geológica y geomorfológica disponible, se ha realizado un modelo geológico-geotécnico del deslizamiento de Pajonales. La caracterización geotécnica de los materiales presentes en la ladera ha sido establecida a partir de ensayos de laboratorio (granulometría, límites de Atterberg, densidad seca, resistencia al corte directo y presión de hinchamiento) realizados en muestras representativas, tomadas en los diferentes escarpes secundarios que compartimentan el depósito deslizado. La información se completó con algunos datos ya publicados (González de Vallejo et al., 2008; Pérez-Romero et al., 2007; Rodríguez-Losada et al., 2009; Serrano et al., 2007; Rodríguez-Peces et al., 2013). La estabilidad se ha calculado mediante el programa Slide, que emplea diferentes métodos de equilibrio límite. Primero se reconstruyó la topografía previa al deslizamiento, generando un perfil topográfico de la ladera por interpolación de perfiles adyacentes en los que se observan los mismos materiales sin movilizar. A partir de este perfil, se ha realizado un análisis de sensibilidad considerando diferentes casos, en función de las propiedades geotécnicas (valores medio y mínimo) y el grado de saturación de los materiales (parcial o total).

## EL DESLIZAMIENTO DE PAJONALES

La masa deslizada presenta unas dimensiones considerables: tiene una longitud máxima de 4 km, una extensión de 5,6 km<sup>2</sup> y un volumen de 1,16 km<sup>3</sup> (Lomoschitz et al., 2002). La diferencia de cota entre el escarpe superior y el pie es de unos 1000 m, siendo la pendiente media de 20-25°. Los materiales involucrados pertenecen a los depósitos volcánicos del Grupo Roque Nublo y del Grupo Post-Roque Nublo (Balcells et al., 1990; Barrera y Gómez, 1990). Son materiales emitidos en los últimos 5,5 Ma y están constituidos por sucesiones de lavas basálticas con intercalaciones de piroclastos de caída. Este hecho confiere al macizo rocoso un grado de competencia y de soldadura muy variables, que condicionan la existencia de una fuerte anisotropía en la vertical. El escarpe principal del deslizamiento coincide con la orientación definida por los diques y conos piroclásticos que se alinean en la cabecera del escarpe. Ambas estructuras se atribuyen al Grupo Roque Nublo y al Post-Roque Nublo. Todo esto permite suponer que el escarpe del deslizamiento se desarrolló a favor de una franja de terreno sometida a esfuerzos de tracción. Por otra parte, a muro del depósito deslizado y coincidiendo con el fondo del barranco principal

(Barranco de Tirajana), se observa una ignimbrita riolítico-traquítica del Grupo Mogán (14-13,3 Ma). Esta formación se encuentra afectada por un proceso de alteración hidrotermal muy penetrativo que le confiere un aspecto rojizo. Todas estas observaciones sugieren que la superficie basal del deslizamiento se habría desarrollado en estos materiales.

El deslizamiento de Pajonales comprende varios bloques desmembrados que indican la existencia de sucesivas generaciones de movimientos separados en el tiempo (Fig. 1). El primer cuerpo deslizado (Pajonales I) se encuentra en la zona de cabecera y está formado por materiales lávicos y piroclásticos del Grupo Roque Nublo. El siguiente cuerpo (Pajonales II) es el más extenso y ocupa el tramo medio de la ladera. El fondo del valle está recubierto por el bloque de Pajonales III y un depósito de derrubios (Pajonales IV o Rosiana) que ha experimentado varios flujos en las inmediaciones de Rosiana. Estas reactivaciones se encuentran documentadas entre 1879 y 1956 (Lomoschitz y Corominas, 1997) y estarían relacionadas con periodos de lluvias intensas y prolongadas. En términos generales, se observa que la fábrica y la resistencia de los cuerpos deslizados presentan una correlación inversa con el aumento de la alteración que experimentan los bloques rocosos a media que se ven afectados por las sucesivas reactivaciones.



FIGURA 1. Vista frontal de los escarpes y masas deslizadas del deslizamiento de Pajonales.

## CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Durante la campaña de campo se recogieron muestras representativas en distintos puntos en los escarpes de los sucesivos deslizamientos, la mayoría procedentes de niveles de tobas y piroclastos de composición basáltica o traquítica. Atendiendo a la granulometría, en los escarpes de Pajonales I y II se pueden clasificar como arenas con un alto contenido en limos y arcillas (28 %). Esta proporción es mucho mayor (82 %) en los cuerpos distales de Pajonales III y IV. Atendiendo solo a la fracción fina, las muestras se pueden clasificar como limos arcillosos con plasticidad variable. En Pajonales I y II, no presentan plasticidad

significativa, mientras que en Pajonales III y IV la plasticidad es media a alta (límite líquido 50-76 %). Todas las muestras presentan cierta expansividad, aunque en la mayoría de los casos no es significativa. Sólo en el caso de los piroclastos alterados se observa una expansión marginal. Las densidades secas presentan una notable dispersión: desde valores altos (2,0-2,3 g/cm<sup>3</sup>), propios de materiales rocosos densos, hasta valores muy bajos (1,2-1,3 g/cm<sup>3</sup>). Estos resultados reflejan el diferente grado de competencia que presentan los materiales que forman la masa deslizada: fragmentos de coladas de lava y de piroclastos. Los parámetros resistentes obtenidos en el ensayo de corte directo muestran una correlación con su distribución espacial. El ángulo de rozamiento interno disminuye hacia el pie del depósito, mientras que la cohesión aumenta. En la zona de cabecera (Pajonales I y II) el ángulo de rozamiento interno es elevado (42-46°) y la cohesión baja (13-27 kPa), mientras que en la zona distal (Pajonales III y IV) el ángulo de rozamiento interno es menor (31-36°) y la cohesión mayor (23-41 kPa). Sin embargo, cuando los piroclastos se presentan alterados los parámetros resistentes se reducen considerablemente (el ángulo de rozamiento interno es de 15-32° y la cohesión de 32-38 kPa). Por lo que respecta a la caracterización geotécnica de los materiales rocosos que no forman parte de los escarpes, se han asumido los valores medios y mínimos publicados en trabajos previos.

## ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Se generó un modelo geológico-geotécnico de la ladera a partir de la topografía previa al deslizamiento, diferenciado seis unidades con diferente espesor (e). De arriba a abajo serían: 1) Lavas y piroclastos del Grupo Post-Roque Nublo (e ~100-200 m); 2) Tobas basálticas del Grupo Post-Roque Nublo (e ~20-30 m); 3) Brecha Roque Nublo y piroclastos del Grupo Roque Nublo (e ~80-100 m); 4) Lavas escoriáceas y piroclásticos del Grupo Roque Nublo (e ≥ 200 m); 5) Ignimbritas y coladas riolítico-traquíticas del Grupo Mogán; 6) suelo de masa deslizada. Además, hay que tener en cuenta que el macizo rocoso es anisótropo en la vertical debido a la alternancia de niveles con diferente competencia (lavas y piroclastos) y que los niveles de lavas presentan disyunción columnar (grietas de tracción subverticales).

A continuación se realizó un análisis de estabilidad retrospectivo, localizando en el perfil topográfico los escarpes del deslizamiento y las superficies de rotura coincidentes. La opción elegida justificaría la primera generación de deslizamientos, la que dio lugar al Pajonales I (Fig. 2). El límite inferior del deslizamiento se ha establecido por un criterio geológico-geotécnico: la presencia de niveles con una resistencia muy baja en el fondo del barranco. Estos niveles son los piroclastos e ignimbritas alteradas que definen el contacto superior de las ignimbritas del Grupo Mogán.

Para que se produzca el deslizamiento, se necesitan materiales alterados con valores de resistencia mecánica mínimos y unas condiciones de saturación elevadas. Esto reforzaría la hipótesis de que los períodos de inestabilidad en las vertientes de Tirajana estarían relacionados con intervalos de tiempo más húmedos que los actuales, como los máximos glaciares pleistocenos (Lomoschitz et al., 2002; Meco et al., 2008).

La masa rocosa se ha desorganizado en cada fase de deslizamiento, hasta alcanzar una estructura interna caótica. Así, en el escarpe de Pajonales II se reconocen bloques con la disposición original de los materiales, pero con diferente buzamiento. Para simplificar, se han considerado dos casos: a) una masa deslizada formada por la mezcla ponderada de todos los materiales afectados por Pajonales I; y b) una masa compuesta por los piroclastos de la unidad 4 (valores medios y mínimos) que afloran en el segundo escarpe. En ambos casos, también se requiere una elevada saturación del material (71-81 %) para generar el Pajonales II. En el caso del deslizamiento de Pajonales III se han identificado dos superficies de rotura sucesivas (Pajonales IIIa y IIIb). Se ha considerado que las características geotécnicas del material que deslizó se corresponden con los piroclastos alterados de la unidad 4. En ambas superficies se requieren valores geotécnicos mínimos y una elevada saturación de la masa deslizada (81-100 %). Para la modelización del deslizamiento de Pajonales IV (Rosiana) se han usado los valores geotécnicos del material tipo suelo. Para que se produzca el deslizamiento se requiere una pérdida total de cohesión y una importante saturación. Esto es congruente con las condiciones que debían existir cuando tuvo lugar el deslizamiento de 1956: varios días de intensas precipitaciones con 544 mm de lluvia acumulada.

## CONCLUSIONES

Las superficies de rotura que afectan a la masa de Pajonales se han desarrollado principalmente a través de niveles limo-arcillosos que presentan ángulos de rozamiento interno bajos y alta plasticidad. Estos materiales son producto de la alteración, posiblemente hidrotermal, de tobas volcánicas, ignimbritas no soldadas y niveles de piroclastos. Este hecho se ha confirmado a partir del análisis de estabilidad del deslizamiento de Pajonales, donde se ha observado que para que se produzca esta inestabilidad es necesario que los materiales piroclásticos se encuentren alterados de tal manera que sus propiedades geotécnicas sean las más desfavorables (valores mínimos o residuales). Por otra parte, la presencia de agua constituyó un factor desencadenante del deslizamiento, ya que para que se produzca la inestabilidad es necesaria la saturación total o parcial de los materiales. Con todo, no se deben descartar otros factores desencadenantes, como la actividad sísmica relacionada con procesos volcánicos.

Por último, el análisis de estabilidad revela que el deslizamiento de Pajonales se desarrolla de manera progresiva hacia el barranco de Tirajana. A medida que se producen las sucesivas reactivaciones, las masas ya

deslizadas se descomponen en otras más pequeñas. Se diferenciaría de los deslizamientos retrogradantes, porque en éstos, la erosión remontante desestabiliza los materiales situados por encima de la masa ya deslizada.

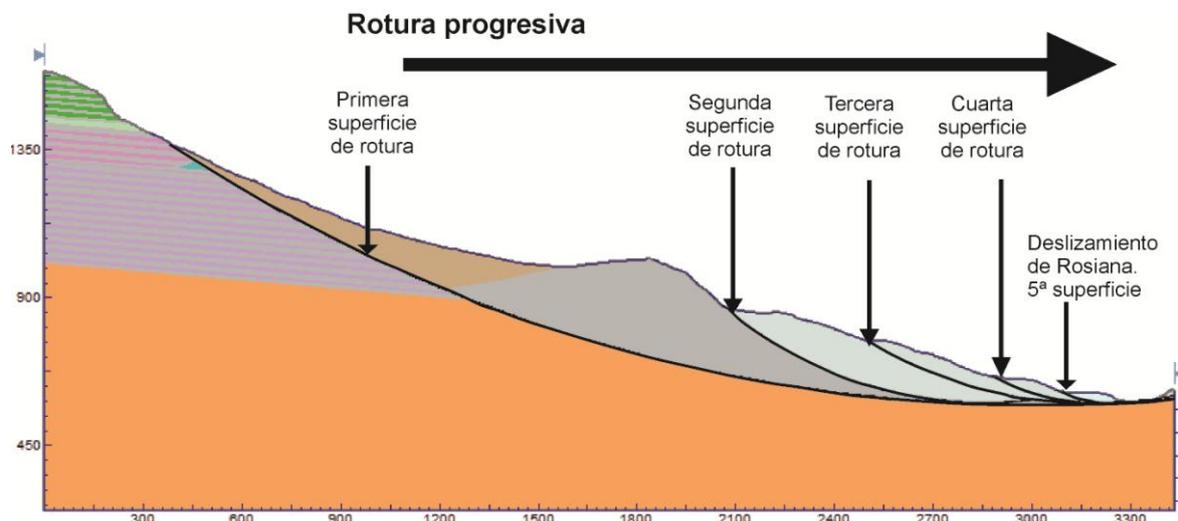


FIGURA 2. Perfil topográfico actual de la ladera izquierda de Tirajana con las superficies de rotura obtenidas para las cinco fases del deslizamiento de Pajonales.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los grupos de investigación Geología Aplicada y Regional de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y Tectónica Activa, Paleosismicidad y Riesgos asociados, GR35/10-A-910368 de la Universidad Complutense de Madrid.

## REFERENCIAS

- Balcells, R., Barrera, J.L. y Gómez J.A. (1990): Memoria y mapa geológico de España a escala 1:25.000, Hoja 1114-IV (Santa Lucía). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Barrera, J.L. y Gómez. J.A. (1990): Memoria y mapa geológico de España a escala 1:25.000, Hoja 1109-III (San Bartolomé de Tirajana). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- González de Vallejo, L.I., Hijazo, T. y Ferrer, M. (2008): Engineering Geological Properties of the Volcanic Rocks and Soils of the Canary Islands. *Soils and Rocks*, 31: 3-13.
- Lomoschitz, A. y Corominas, J. (1997): Actividad histórica y características de los movimientos de ladera de Rosiana, Gran Canaria. *Boletín Geológico y Minero*, 108: 53-68.
- Lomoschitz, A., Meco, J. y Corominas, J., 2002. The Barranco de Tirajana basin, Gran Canaria (Spain). A major erosive landform caused by large landslides. *Geomorphology*, 42: 117-130.

- Meco, J., Betancort, J.F., Ballester, J., Fontugne, M., Guillou, H., Scaillet, S., Lomoschitz, A., Cilleros, A., Carracedo, J.C., Petit-Maire, N., Ramos, A.J.G., Perera, M.A., Soler-Onís, E., Medina, P., Montesinos, M. y Meco, J.M., 2008. *Historia geológica del clima en Canarias*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 296 p.
- Pérez-Romero, J., Oteo, C. y de la Fuente, P. (2007): Design and optimisation of the lining of a tunnel in the presence of expansive clay levels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 22: 10-22.
- Rodríguez-Losada, J.A., Hernández-Gutiérrez, L.E., Olalla, C., Perucho, A., Serrano, A. y Eff-Darwich, A. (2009): Geomechanical parameters of intact rocks and rock masses from the Canary Islands: Implications on their flank stability. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 182: 67-75.
- Rodríguez-Peces, M.J., Yepes Temiño, J. y Martín-Nicolau, E. (2013): Geotechnical features of the volcanic rocks related to the Arteara rock avalanche in Gran Canaria (Canary Islands, Spain). En: *Landslide Science and Practice. Volume 3: Spatial Analysis and Modelling* (Margottini, C.; Canuti, P. y Sassa, K., eds.), Springer, 111-117.
- Serrano, A., Olalla, C., Perucho, A., Hernández-Gutiérrez, L.E. (2007): Strength and deformability of low density pyroclasts. En: *Volcanic Rocks* (Nunes J.C. y Malheiro, M.M., eds.). Taylor & Francis Group. London, 35-43.