

Evaluación y zonificación de la susceptibilidad por desprendimientos en la Ruta de Las Xanas (Asturias)

Evaluation and zoning of rockfall hazard in the Las Xanas Route (Asturias)

Claudia Alonso Cordero¹, María José Domínguez-Cuesta¹ y José Cuervas-Mons¹

¹Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. C/ Jesús Arias de Velasco s/n, 33005. Oviedo, España.

claudialonsocordero9@gmail.com; dominguezmaria@uniovi.es; jcuervas@geol.uniovi.es

ABSTRACT

In this work, a rockfall susceptibility analysis was carried out in the Ruta de Las Xanas, Asturias. For this purpose, a methodological procedure was established consisting of: i) bibliographic compilation and acquisition of geospatial data of the area; ii) photo-interpretation and fieldwork, which included mapping of slope deposits and identification of susceptibility determining factors; iii) zoning of the susceptibility by sections by a Geographic Information System (GIS). The susceptibility zoning has let to establish that most of the route (76%, 2724.7 m) has low or medium-low susceptibility values, although there is a total of 863.4 m (24% of the route) whose susceptibility varies from medium-high to very high.

Key-words: Rockfall, hazard, Las Xanas trail.

RESUMEN

En este trabajo se realizó un análisis de la susceptibilidad ligada a desprendimientos de roca en la Ruta de Las Xanas, Asturias. Para ello, se estableció un procedimiento metodológico que consistió en: i) recopilación bibliográfica y adquisición de datos geoespaciales de la zona; ii) fotointerpretación y trabajo de campo, que incluyó cartografía de depósitos de ladera e identificación de factores determinantes de la susceptibilidad; iii) zonificación de la susceptibilidad por tramos mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG). La zonificación de la susceptibilidad ha permitido establecer que la mayoría de la ruta (76%, 2724,7 m) presenta susceptibilidad baja o media-baja, aunque hay un total de 863,4 m (24% de la ruta), cuya susceptibilidad varía de media-alta a muy alta.

Palabras clave: Desprendimientos, peligrosidad, Ruta de Las Xanas.

Geogaceta, 71 (2022), 59-62
ISSN (versión impresa): 0213-683X
ISSN (Internet): 2173-6545

Fecha de recepción: 15/07/2021
Fecha de revisión: 29/10/2021
Fecha de aceptación: 26/11/2021

Introducción

La Ruta de Las Xanas (Fig. 1) discurre por los concejos de Santo Adriano, Proaza y Quirós (Principado de Asturias), atravesando el desfiladero del Arroyo de Las Xanas, de origen fluviokarístico. La Ruta presenta una longitud total de 3,7 km, de los cuales 2 km corresponden al desfiladero, salvando un desnivel de 500 m. Se trata de una ruta senderista muy conocida y con un grado de dificultad bajo, recibiendo miles de visitantes al año. En la senda se han producido varios desprendimientos de roca de distinta magnitud (Valenzuela *et al.*, 2017), llegando a estar cerrada al público durante 53 días en el año 2018.

El objetivo de este trabajo es evaluar la susceptibilidad ligada a desprendimientos de roca en la senda, para elaborar una zonificación de dicha susceptibilidad a lo largo de su trazado.

Área de estudio

El desfiladero del Arroyo de Las Xanas fue declarado Monumento Natural en abril

de 2002 (Decreto 40/2002 BOPA) e incluido en la Red Regional de Espacios Naturales Protegidos del Principado de Asturias. Está emplazado sobre materiales calcáreos que han dado lugar a laderas de fuerte pendiente y marcados escarpes rocosos. La superficie de ladera por encima de la Ruta hasta la divisoria es de 625.300 m², de los cuales el 27,8% presenta pendientes superiores a 40°. La longitud de ladera por encima de la senda es de 1627 m y la máxima altura a la que transcurre la senda respecto al fondo del valle es de 127 m.

Por las paredes del desfiladero transita una vía tallada en la roca en la primera mitad del siglo XX. Presenta 1 m de ancho en la mayor parte del recorrido, estrechándose en algunos tramos hasta los 60 cm y discurriendo en dos ocasiones bajo túneles excavados en el propio macizo (Figs. 2A y B). En determinadas zonas se han colocado protecciones para evitar que los canchales invadan la senda. Además, en julio de 2021 se renovaron diferentes elementos de seguridad, tales como cuerdas para agarrarse en los tramos más estrechos, barandillas y pasos de madera. Al inicio de la senda existe un panel informativo

con recomendaciones de carácter general y una señal que advierte del peligro por desprendimientos de roca (Fig. 2C).

La ruta se ubica dentro del dominio oceánico de Europa occidental. Presenta un clima desarrollado bajo influencia atlántica y caracterizado por temperaturas suaves y precipitaciones abundantes y regulares a lo largo de todo el año, con nevadas en invierno y baja insolación y ausencia de aridez (García Couto, 2011).

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio se sitúa en la Zona Cantábrica del Macizo Ibérico, dentro de la Región de Pliegues y Mantos, formando parte de la unidad de La Sobia-Aramo (Julivert, 1972). El sustrato geológico de la zona corresponde a materiales del Paleozoico, desde el Devónico Inferior hasta el Carbonífero Superior. El Devónico presenta una alternancia de unidades siliciclásticas y carbonatadas. Por su parte, el Carbonífero presenta una sucesión carbonatada, sobre la que se sitúa otra sucesión con alternancia de lutitas, areniscas y calizas. La zona está intensamente deformada y se caracteriza por la presencia de cabalgamientos y pliegues

relacionados entre sí. Hay numerosas fallas de características variadas, aunque normalmente son subverticales y de pequeño desplazamiento (Bastida y Gutiérrez, 1989; Bulnes y Marcos, 2001).

Metodología

La metodología desarrollada incluyó las siguientes etapas: i) recopilación de información; ii) fotointerpretación y trabajo de campo; iii) tratamiento y análisis de la información recopilada mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG); iv) zonificación de la susceptibilidad ligada a desprendimientos de roca.

Recopilación de información

Para el periodo 2004-2020 se revisaron las hemerotecas digitales de "La Nueva España", "El Comercio", "La Voz de Asturias" y "La Voz del Trubia", diarios regionales de prensa escrita, y la base de datos de Argayos del Principado de Asturias (BAPA)

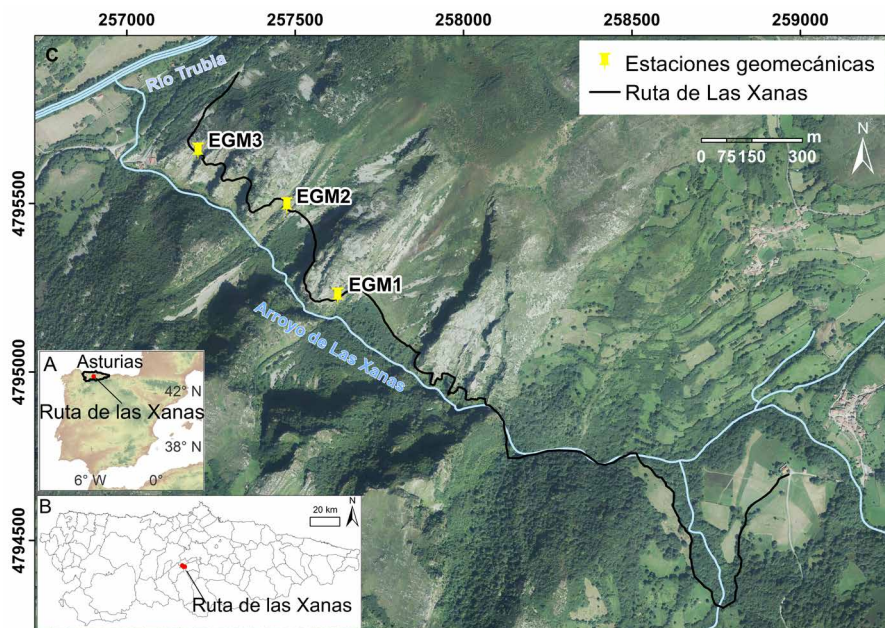


Fig. 1.- Ubicación geográfica de la Ruta de Las Xanas: A) en España; B) en Asturias. C) Recorrido de la ruta paralelo al Arroyo de Las Xanas y ubicación de las estaciones geomecánicas. Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Geographical location of the Las Xanas trail: A) In Spain; B) In Asturias. C) Route path parallel to Las Xanas stream and geomechanical stations location. See color figure in the web



Fig. 2.- A) Tramo de la ruta donde se puede observar la anchura de la senda. B) Tramo que atraviesa uno de los dos túneles excavados en la roca. C) Única señalización de peligro asociado a procesos de gravedad existente al inicio de la Ruta de Las Xanas. D) Canchal en zona de vaguada con estructura de protección para impedir que los cantos invadan la senda. Área preferente de concentración de trayectorias de rocas. E) Trabajo de campo para levantar la estación geomecánica EGM 1 (posición en Fig. 1 C). F) Proyección estereográfica de las familias de fracturas de las estaciones geomecánicas (de arriba a abajo): EGM1, EGM2, EGM3. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- A) Section of the route where the width of the path can be seen. B) Section that crosses one of the two tunnels excavated in the rock. C) The only signposting of gravity process danger at the beginning of the Las Xanas route. D) Rockfall deposit in a concave area where there is a protective structure to prevent debris from invading the trail. Preferential concentration area for rock paths. E) Field work to survey the EGM 1 geomechanical station (position in Fig. 1 C). F) Stereographic projection of the fracture families of the geomechanical stations (from top to bottom): EGM1, EGM2, EGM3. See color figure in the web

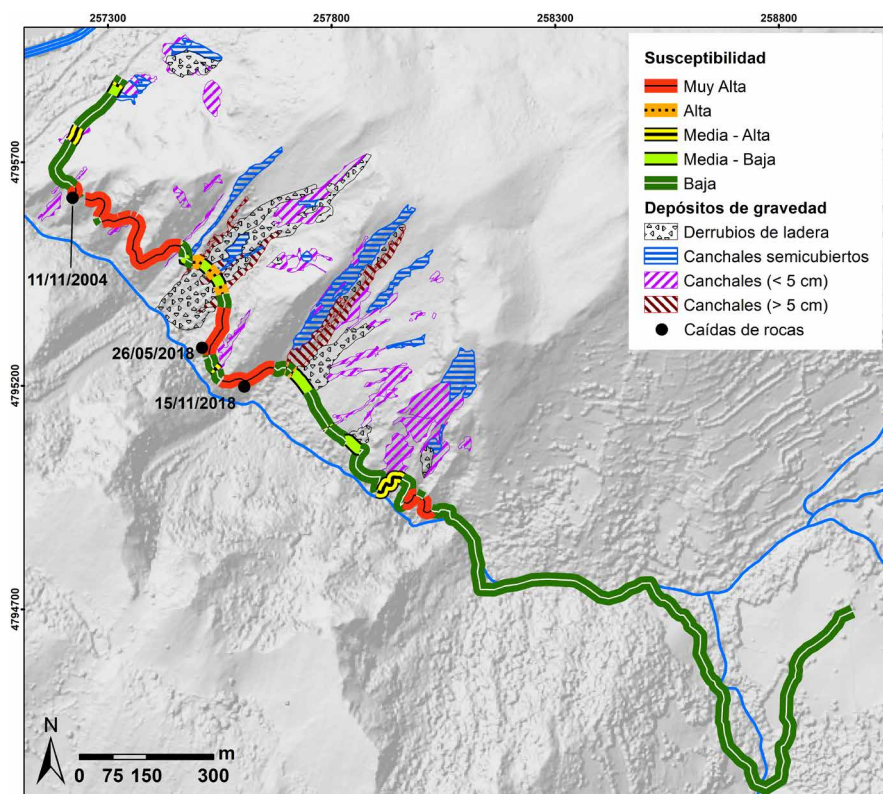


Fig. 3.- Distribución de los depósitos de gravedad, localización de eventos de caída de rocas registrados en la hemeroteca y zonificación de la susceptibilidad ligada a desprendimientos de roca a lo largo de la Ruta de Las Xanas. Ver figura en color en la web.

Fig. 3.- Gravity deposits mapping, location of rockfall events recorded in the newspaper library and susceptibility zoning along the Las Xanas trail. See color figure in the web.

(Valenzuela *et al.*, 2017). Desde el Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (CNIG) se descargaron ortofotos pertenecientes al Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) correspondiente al año 2017 con una resolución de 25 cm. Además, desde el Sistema de Información Territorial e Infraestructura de datos Espaciales de Asturias (SITPA), se descargaron ficheros de curvas de nivel a escala 1:5.000 (MTA050), pertenecientes al vuelo del año 2003. Por último, el visor del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) proporcionó el GEODE de la Zona Cantábrica, a escala 1:50.000 (Merino Tomé *et al.*, 2013).

Fotointerpretación y trabajo de campo

La fotointerpretación permitió identificar la actividad de la ladera y elaborar una cartografía preliminar a escala 1:50.000 de los depósitos de gravedad. La actividad de los escarpes se evidenció por la presencia de canchales por debajo de los mismos.

El trabajo de campo permitió examinar *in situ* las zonas en las que se produjeron desprendimientos y determinar la presencia de escarpes activos y de árboles enraizados en las paredes de las calizas,

así como caracterizar el macizo rocoso y completar la cartografía de los depósitos de gravedad, distinguiéndose cuatro tipos diferentes: i) derrubios de ladera; ii) canchales semicubiertos; iii) canchales activos con clastos de 1 a 5 cm; iv) canchales activos con clastos superiores a 5 cm.

Además, se analizó la relación entre la morfología de la ladera, la presencia de canchales activos y la actividad por caídas de rocas, deduciéndose que los tramos de la Ruta que transcurren por laderas cóncavas, próximas a vaguadas, concentran mayor cantidad de canchales (Fig 2D) y, por lo tanto, de trayectorias de caída de rocas, que los de laderas convexas. Por ello, estas zonas se consideran más susceptibles.

La caracterización del macizo rocoso consistió en el levantamiento de tres estaciones geomecánicas (Fig. 1, Figs. 2E y F), en las cuales se aplicaron las clasificaciones geomecánicas de RQD, RMR y Qslope (Deere y Deere, 1988; Bieniawski, 1989; Bar y Barton, 2017). Para la estimación de estas clasificaciones, se tomaron medidas de los siguientes parámetros: i) la resistencia a compresión simple (utilizando el martillo de geólogo), con valores entre 50 y 250 MPa; ii) la continuidad (desde < 1 m a > 20 m), el espaciado (de < 60 mm a 600 mm), la rugo-

sidad (de suave a muy rugosa), la apertura (de 0 a > 5 mm), la presencia de relleno (de nada a presencia de arcillas, limos y rocas de falla) y el grado de meteorización (entre grado I y grado II) de las discontinuidades; iii) presencia o no de agua (completamente seco). En cada una de las estaciones, se tomaron entre 20 y 25 medidas de discontinuidades con el fin de analizar el número y distribución de las familias de diaclasado, (de dos a tres familias principales con diaclasas aleatorias), así como para identificar posibles bloques y cuñas inestables.

Gestión SIG

Toda la información recopilada se integró en un Sistema de Información Geográfica, SIG, (*ArcGIS 10.5®*). Además, se elaboró el Modelo Digital de Elevaciones con paso de malla 5 m. A partir de éste se obtuvieron el Modelo Digital de Sombreado y el Modelo Digital de Pendientes (MDP).

Zonificación de la susceptibilidad

El análisis de toda la información con SIG, junto con el reconocimiento de campo, permitieron establecer una zonificación de la susceptibilidad ligada a desprendimientos de roca, que es el proceso más frecuente en el área de estudio.

La clasificación de dicha susceptibilidad se basa en: i) la pendiente, ii) la presencia de escarpes activos, iii) la morfología de la ladera y iv) la calidad del macizo rocoso. La variable pendiente se cruzó con la capa de depósitos de gravedad. Los resultados, junto con la morfología cóncava/convexa de la ladera, así como la presencia/ausencia de túneles, permitieron categorizar la susceptibilidad. De este modo, ha sido posible dividir la ruta en diferentes tramos según cinco categorías de peligrosidad: muy alta, alta, media-alta, media-baja y baja.

Los tramos con susceptibilidad muy alta son zonas con pendientes superiores a 80°, que presentan escarpes activos y amplias zonas de canchales y que transcurren por laderas cóncavas. Las zonas de susceptibilidad alta atraviesan canchales activos, con clastos superiores a 5 cm. Los tramos con susceptibilidad media-alta discurren por la parte convexa de la ladera y atraviesan canchales activos con clastos de 1 a 5 cm. Las áreas con susceptibilidad media-baja se caracterizan por derrubios y canchales semicubiertos por vegetación. Las zonas con susceptibilidad baja transcurren por túneles o por tramos en los que no hay escarpes por encima.

Resultados y Discusión

Se han encontrado diez incidencias en los archivos de prensa (periodo 2004-2020). El 50% se refiere a accidentes relacionados con la actividad turística y el otro 50% a incidentes debidos a procesos de ladera. De las incidencias relacionadas con procesos de ladera, el 90% se refiere a desprendimientos de roca y el 10% restante a caída de árboles en la senda. El factor señalado como desencadenante de los desprendimientos fue la precipitación (excepto uno, del que no se indica la causa), y una intensa nevada fue la causa de la caída de árboles.

El MDP generado ha permitido conocer la distribución de las pendientes de la ruta y determinar que 173.700 m² del entorno de la Ruta de Las Xanas presenta pendientes superiores a los 40°.

Depósitos de gravedad

La superficie de ladera por encima de la ruta (Fig. 3) está, en gran parte, desprovista de recubrimiento, aflorando el sustrato rocoso. En otras zonas, aparecen depósitos originados por procesos de gravedad que ocupan una superficie total de 147.300 m². Los derrubios suponen el 32,9% del total de depósitos; los canchales semicubiertos, el 20,5%; los activos con clastos de tamaño superior a 5 cm, el 11,5% y los activos con clastos entre 1-5 cm, el 35,1% (Fig. 3).

Los canchales y derrubios se localizan, fundamentalmente, en la base de los escarpes rocosos con elevada pendiente (superior a 30°), en franjas generalmente estrechas y alargadas (Fig. 3). Están formados por clastos calcáreos y angulosos, cuyos tamaños varían de centimétricos a decimétricos. Con menor frecuencia, se distinguen clastos de mayores dimensiones (en algunos casos bloques de varios metros) que llegan a sobrepasar la senda, incluso llegando al Arroyo de Las Xanas (Fig. 3).

Calidad del macizo rocoso

Las clasificaciones de RQD, RMR y Qslope han permitido definir la calidad del macizo rocoso como media – muy buena (62-94%), buena a muy buena (61-84%) e inestable a estable (0,735-1,64), respectivamente.

En las tres estaciones se han distinguido de dos a tres familias de diaclasas, de las cuales al menos dos son familias principales, y el resto aleatorias. En todas las estaciones, las intersecciones de las juntas entre sí podrían formar cuñas y bloques que darían lu-

gar a desprendimientos rocosos, tanto por gravedad, como por deslizamiento (Fig. 2F).

Zonificación de la susceptibilidad

El análisis de toda la información obtenida ha permitido desarrollar una zonificación de la susceptibilidad por desprendimientos en la Ruta de Las Xanas (Fig. 3). Cabe mencionar que parte de la Ruta atraviesa zonas y túneles excavados en el propio macizo. Estas zonas se pueden considerar “zonas de sombra”, porque quedarían fuera de la trayectoria de las rocas en su caída, aunque esto no implica que sean zonas completamente seguras, ya que podrían sufrir desprendimiento de bloques del propio techo del túnel o de las cornisas. El recorrido se ha dividido en diferentes tramos de acuerdo con el índice de susceptibilidad (Fig. 3 y Tabla I).

Tramo de susceptibilidad muy alta, que presenta una longitud de 654,4 m (18%); tramo de susceptibilidad alta, de 68 m (2%); tramo de susceptibilidad media-alta, de 141 m (4%); tramo de susceptibilidad media-baja de 162 m (5%) y tramo de peligrosidad baja de 2.552,7 m (71%) (Tabla I).

Susceptibilidad	Longitud (m)	%
Muy Alta	654,4	18
Alta	68	2
Media-Alta	141	4
Media-Baja	162	5
Baja	2552,7	71

Tabla I.- Distribución de longitudes de los tramos de susceptibilidad de la ruta.

Table I.- Length distribution of the susceptibility sections of the trail.

Además, se ha observado una deficiente señalización de los riesgos existentes en la ruta. La única advertencia del peligro por desprendimientos está situada al inicio de la Ruta; después, a lo largo de ella, no existe ninguna otra indicación, por lo que sería conveniente actualizar la cartelería para advertir claramente del peligro a los visitantes.

Conclusiones

Se ha llevado a cabo el análisis de la susceptibilidad por desprendimientos de roca en los 3,7 km de la Ruta de Las Xanas, Asturias.

El hallazgo en los archivos de prensa regional de cinco incidencias en la Ruta para el periodo 2004-2020, ha permitido esta-

blecer que se trata de una zona susceptible a desprendimientos, lo que ha sido corroborado por los abundantes depósitos de gravedad identificados en la ruta.

Se ha determinado que los factores relacionados con la ocurrencia de estos desprendimientos son: la pendiente, la presencia de escarpes activos, así como la calidad, grado de fracturación y disposición del macizo rocoso.

A partir del mapa de zonificación de la susceptibilidad a desprendimientos en la Ruta de Las Xanas generado en este trabajo, se ha podido identificar que el 20% de ella corresponde a tramos con susceptibilidad alta a muy alta (722,4 m), frente al 80% de susceptibilidad baja a media-alta (2855,7 m).

Como medida de reducción del riesgo, se propone avisar a los transeúntes de la peligrosidad natural por caída de rocas a la que está expuesta la ruta, a partir de paneles informativos y señaléticas.

Agradecimientos

Los autores agradecen las sugerencias de J.V. Pérez Peña y R. Sarro, revisores del manuscrito.

Referencias

- Bar, N. y Barton, N. (2017). *Rock Mechanics and Rock Engineering* 50, 3307-3322.
- Bastida, F. y Gutiérrez, G. (1989). *Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo* 18, 117-125.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley Inc, New York, 272 p.
- Bulnes, M. y Marcos, A. (2001). *International Journal Earth Sciences*. 90, 287-303.
- Deere, D.U. y Deere, D.W. (1988). *Rock Classification Systems for Engineering Purposes*, 91-101.
- García Couto, M.A. (2011). *Iberian Climate Atlas*, AEMET (España) e Instituto de Meteorología (Portugal), Madrid, Spain.
- Julivert, M. (1972). *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. Ins Geol Min España, Madrid. 1-113.
- Merino Tomé, O., Suárez Rodríguez, A. y Alonso, J.L. (2013). *Mapa Geológico Digital continuo E. 1:50.000, Zona Cantábrica (Zona-1000)*. En: GEODE. *Mapa Geológico Digital continuo de España*. [en línea] [30-05-2021]. Disponible en: <<https://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/geode-zona.aspx?Id=Z1000>>
- Valenzuela, P., Domínguez-Cuesta, M.J., Mora García, M.A. y Jiménez-Sánchez, M., (2017). *Geomorphology* 293, 11–23.