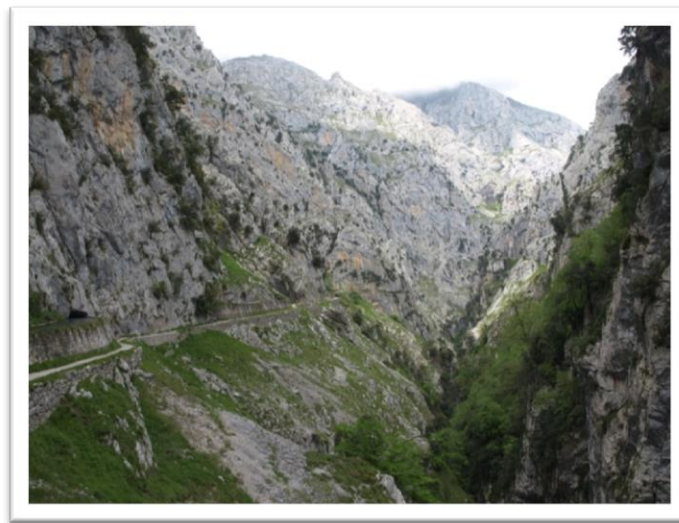




Universidad de Oviedo

Facultad de Geología

Zonificación y evaluación de la peligrosidad por procesos de ladera en la Ruta del Cares



Trabajo Fin de Máster

Julio 2016

Máster en Recursos Geológicos e Ingeniería geológica

Lara Álvarez García

D^a. Lara Álvarez García, autora del Trabajo Fin de Máster titulado “Zonificación y evaluación de la peligrosidad por procesos de ladera en la Ruta del Cares”, confirma que es un trabajo original y solicita su presentación en el Máster Universitario Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica de la Universidad de Oviedo.

En Oviedo, a 13 de Julio de 2016

Fdo. Lara Álvarez García

La Dra. María José Domínguez Cuesta, profesora titular del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo y la Licenciada Mónica Meléndez Asensio, Técnico Superior del Instituto Geológico y Minero de España confirman que han tutelado el trabajo “Zonificación y evaluación de la peligrosidad por procesos de ladera en la Ruta del Cares”, realizado por D^a. Lara Álvarez García, y autorizan su presentación y defensa como Trabajo Fin de Máster en el Máster Universitario en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica de la Universidad de Oviedo.

En Oviedo, a 13 de Julio de 2016

Fdo. María José Domínguez Cuesta

Fdo. Mónica Meléndez Asensio

Agradecimientos

Quisiera agradecer especialmente a mi cotutora María José Domínguez su incontable ayuda, trabajo y toda la dedicación mostrada a lo largo de este año.

A mi tutora Mónica Meléndez por sus ideas y su ayuda.

A mis compañeros de máster y de licenciatura por todos los increíbles momentos compartidos en estos largos años.

A mis amigas por todo su apoyo y sus constantes ánimos.

Y, sobre todo, a mis padres. Gracias por vuestro constante apoyo, ayuda, dedicación y paciencia. Sin vosotros no habría podido llegar hasta donde estoy.

Gracias.

Índice

Resumen	4
Abstract	5
1. Introducción	6
2. Objetivos	12
3. Área objeto de estudio.....	12
3.1. Situación geográfica	12
3.2. Situación geológica	14
4. Metodología	18
4.1. Recopilación bibliográfica y de eventos de inestabilidad de ladera.....	18
4.2. Recopilación de los datos de litologías, formaciones superficiales, climatología e incendios...	19
4.3. Recopilación fotografía aérea y fotointerpretación.	25
4.4. Trabajo de campo.	26
4.5. Diseño de fichas de datos y elaboración de una base de datos mediante SIG.....	26
4.6. Tratamiento y análisis de la información mediante SIG	28
4.6.1. Elaboración Modelo Digital de Pendientes.....	29
4.6.2. Elaboración modelos digitales dirección de flujo.....	29
4.7. Elaboración de una zonificación de peligrosidad.....	30
5. Resultados y discusión	30
5.1. Registro de eventos de inestabilidad y otras incidencias.....	30
5.1.1. Distribución temporal	44
5.5.3. Distribución espacial.....	45
5.2. Actividad por caída de rocas	49
5.3. Incidencia de parámetros climáticos	52
5.4. Incidencia de incendios	55
5.5. Visitantes en la Ruta del Cares.....	57
5.5. Elaboración de MDT mediante SIG	58
5.5.1. Modelo Digital de Pendientes.....	58
5.5.2. Modelos de dirección de flujo.....	59
5.6. Zonificación de la peligrosidad por caída de rocas	61
6. Conclusiones	77
7. Bibliografía	79

Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta de zonificación de la peligrosidad asociada a procesos de ladera a lo largo del camino que recorre la Ruta del Cares en el Parque Nacional de los Picos de Europa, entre las provincias de Asturias y León.

Para ello se ha utilizado la información de 3 incidencias recibidas en el Servicio de Emergencias del 112 Asturias y de 51 noticias referentes a este tipo de procesos, de un total de 297 recogidas en los periódicos regionales de El Comercio, el Diario de León y La Nueva España, entre los años 2001 y febrero de 2016. Se han registrado 22 procesos de ladera, de los cuales 6 no han generado daños, 10 ocasionaron daños personales y 6 dañaron la propia Senda. De todos ellos, se han podido situar con bastante exactitud 10. Además, se han emitido 7 alertas por riesgo de caída de rocas y aludes y han tenido lugar 27 accidentes por causas ajenas a factores geológicos.

Además, se han considerado otras variables como la distribución de pendientes, la presencia de depósitos de canchal o las variables climáticas. Los datos pluviométricos de 6 estaciones (3 en Asturias y 3 en León) gestionadas por la Agencia Estatal de Meteorología, AEMET, junto con los datos de los recursos hídricos en forma de nieve del programa ERHIN y los datos de incendios aportados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, ponen de manifiesto la correlación entre estos factores y el desencadenamiento de los procesos de ladera en la Ruta del Cares.

Se han desarrollado trabajos de campo y análisis mediante Sistemas de Información Geográfica que han permitido establecer una zonificación de la peligrosidad asociada a inestabilidades de ladera con cuatro categorías de peligrosidad: i) peligrosidad baja: tramos de la Senda que transcurren por túneles y tramos excavados en el propio macizo o fuera del alcance por caída de rocas, ii) peligrosidad media: tramos en los que no existen escarpes o exposición de materiales que pueda ser movilizadas o, en caso de que así sea, que la ladera presente una morfología que permita que los bloques pasen por encima de la senda hacia el fondo del valle sin afectarla, iii) peligrosidad media-alta: tramos con presencia de canchales en los que la senda discurre por una parte convexa de la ladera y iv) peligrosidad alta: tramos con amplia distribución de canchales y en los que la senda discurre por una parte cóncava de la ladera.

Abstract

This work presents a proposal of slope processes hazard zoning along the Ruta del Cares Trail, in the Picos de Europa National Park, between the provinces of Asturias and León.

For that purpose information about 3 events recorded in the 112 Emergency Service in Asturias and 51 of news regarding those processes, out of a total of 297 that were collected between 2001 and February 2016, have been used. 22 slope processes have been registered, out of which 6 not caused damages, 10 caused personal injuries and 6 damaged the trail itself. It has been able to accurately locate 10 of them. In addition, 7 alerts related to rockfall and avalanches have been issued and there have been 27 accidents caused by non-geological factors.

It has been also considered other variables such as slope distribution, the presence of scree deposits or climatic variables. The rainfall data from 6 stations (3 from Asturias and 3 from León) managed by the State Meteorological Agency (AEMET), along with the water resources in the form of snow from ERHIN program and the wildfire data that the Environment, Agriculture and Food Ministry have provided, underline the correlation between these factors and the slope processes triggering in the Ruta del Cares.

Field work and Geographic Information Systems analysis have allowed to establish a zoning of the hazard related to slope instabilities, under 4 hazard categories: i) low hazard: sections of the Senda that run through tunnels or have been excavated under the massif itself and sections where there are no exposure to materials, ii) medium hazard: sections where there are no scarps or exposure to materials that may be mobilised or, in case there are, the slope presents a morphology that allows the blocks to go over the trail all the way down the valley without affecting it, iii) medium-high hazard: sections where there are screes through which the trail runs on a convex part of the slope and iv) high hazard: sections with a wide scree distribution through which the trail runs on a concave parts of the slope.

1. Introducción

Los parajes naturales, a menudo son áreas que provocan gran interés y atraen a visitantes que se acercan a lo largo del año para disfrutar del paisaje y de diversas actividades al aire libre. Brocx y Semeniuk (2007) establecen la definición de “geoheritage” o “patrimonio geológico” como un concepto interesado en la conservación de aquellas características importantes para la ciencia de la Tierra, tales como los accidentes geográficos, las exposiciones naturales y artificiales de roca y todos aquellos lugares donde las características geológicas puedan ser examinadas. España va un paso más allá acogiendo el término “geoheritage” bajo el amparo de la Ley Española de protección de áreas naturales y vida salvaje (Ley 42/2007 Patrimonio Natural y Biodiversidad) que incluye todos los recursos naturales geológicos de interés científico o de valor cultural y/o didáctico como son las estructuras y formaciones geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras características geológicas que permiten el estudio, conocimiento e interpretación del origen y evolución de la Tierra y de todos los procesos que la han esculpido, así como los climas y paisajes tanto del pasado como del presente y el origen y evolución de la vida (Fuertes y Fernández, 2012).

Estos términos han sido acuñados recientemente debido a que en las últimas décadas, el senderismo ha pasado a ser una de las actividades turísticas más destacadas, con un gran auge económico y de la que se espera, además, un gran aumento en el futuro próximo. Esta afluencia masiva de visitantes a determinadas áreas puede inducir en las mismas ciertos cambios susceptibles, a su vez, de incrementar su fragilidad geomorfológica. Por ello, la Organización Mundial del Turismo (2004) establece que esta actividad ha de ser sostenible, debe hacer un uso óptimo de los recursos medioambientales, respetar la autenticidad socio-cultural de las comunidades de la zona y garantizar la viabilidad de operaciones económicas de largo término, proporcionando beneficios económicos a todos los interesados (Coratza, et al. 2008).

Un ejemplo de este tipo de geoturismo es el que se realiza en áreas naturales protegidas tales como los Parques Nacionales, cuyo conocimiento y disfrute se basa principalmente en el contacto directo con la naturaleza.

En el año 1918 en macizo occidental de los Picos de Europa fue el primer espacio natural de España en ser declarado Parque Nacional con el nombre de P.N. de la Montaña de Covadonga de 16.925 ha de extensión, merecedor de dicho título por su majestuosidad y sus excepcionales valores, tanto naturales como históricos. En el año 1995 fue ampliado a 64.660 ha para incluir los tres macizos calcáreos y, posteriormente, en los años 2004 y 2015, se volvió a ampliar hasta las 67.127 ha actuales (Figura 1).

Se encuentra en el Norte de la Península Ibérica, en la Cordillera Cantábrica, conformando una singular unidad de calizas. Los Picos de Europa constituyen una de las

cinco regiones geológicas estructurales que integran la denominada Zona Cantábrica (Lotze, 1945).

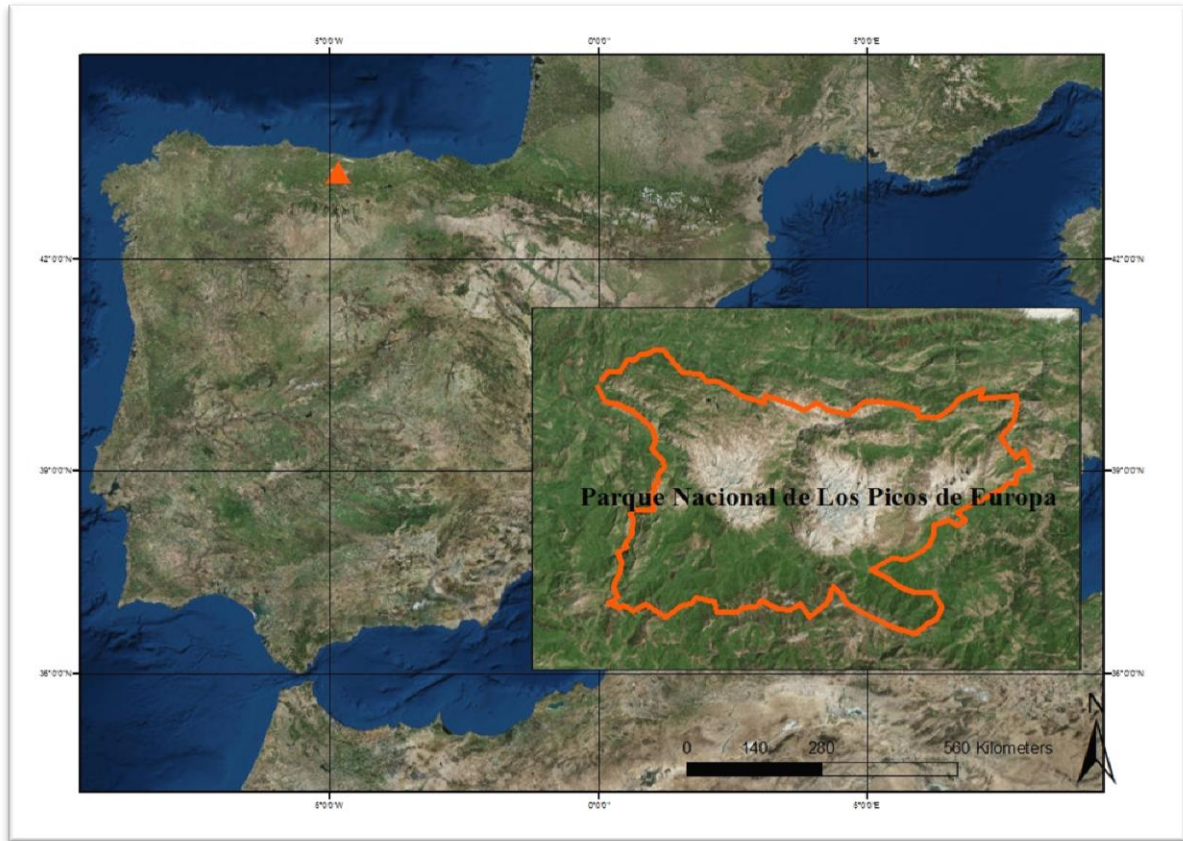


Figura 1. Situación del Parque Nacional de los Picos de Europa.

El Parque Nacional de Los Picos de Europa llama la atención especialmente por sus singularidades geológicas, destacando, además, su agreste y escarpado relieve. Como espacio natural protegido, está constituido por numerosos lugares de interés geomorfológico o “geomorphosites”, es decir, formas del terreno con unos atributos particulares y significativos que lo califican como un componente del patrimonio cultural de un territorio determinado (Serrano y González Trueba, 2005; Ballesteros et al., 2013; González Trueba y Serrano, 2008; 2011a) y que lo hacen, si cabe, aún más excepcional, aportándole valores ambientales, culturales, educativos, turísticos y económicos.

Entre los diversos lugares de interés que lo componen destaca, por su gran belleza y la espectacularidad de su paisaje, la conocida como la “Garganta Divina del Cares” (Figura 2), situada justo en el límite de los Macizos Occidental (El Cornión) y Central (Los Urrieles). Su origen se puede atribuir, principalmente, a la acción fluvial, fluviotorrencial, fluvioglaciaria y fluviokarstica en combinación con otros agentes, que, aprovechando sus variaciones litológicas y su fracturación local, le han otorgado un relieve caracterizado por grandes desniveles y laderas con fuertes pendientes. Todo ello, hace de esta ruta uno de los

“*geomorphosites*” más representativos del patrimonio natural de la zona. Su particular majestuosidad, su singularidad geomorfológica y su fácil recorrido la han convertido en una de las gargantas más famosas de la península.



Figura 2. Aspecto de la Garganta del Cares hacia la mitad de la Ruta entre Caín y Poncebos.

Entre 1915 y 1921 la Sociedad Eléctrica del Viesgo estableció la que sería la primera senda (Figura 3) que discurriría a lo largo de la garganta del Río Cares, con un trazado ligeramente distinto y de mayor dificultad al que conocemos actualmente. Las obras llevadas a cabo tenían como finalidad la captación y conducción de las aguas del Cares desde Caín, en León, hasta Poncebos, en Asturias, para su aprovechamiento hidroeléctrico. Dicho canal, de unos 11 km de longitud, cuenta con un total de hasta 71 túneles barrenados a mano para atravesar las formaciones rocosas (Adrados González et al., 2010).

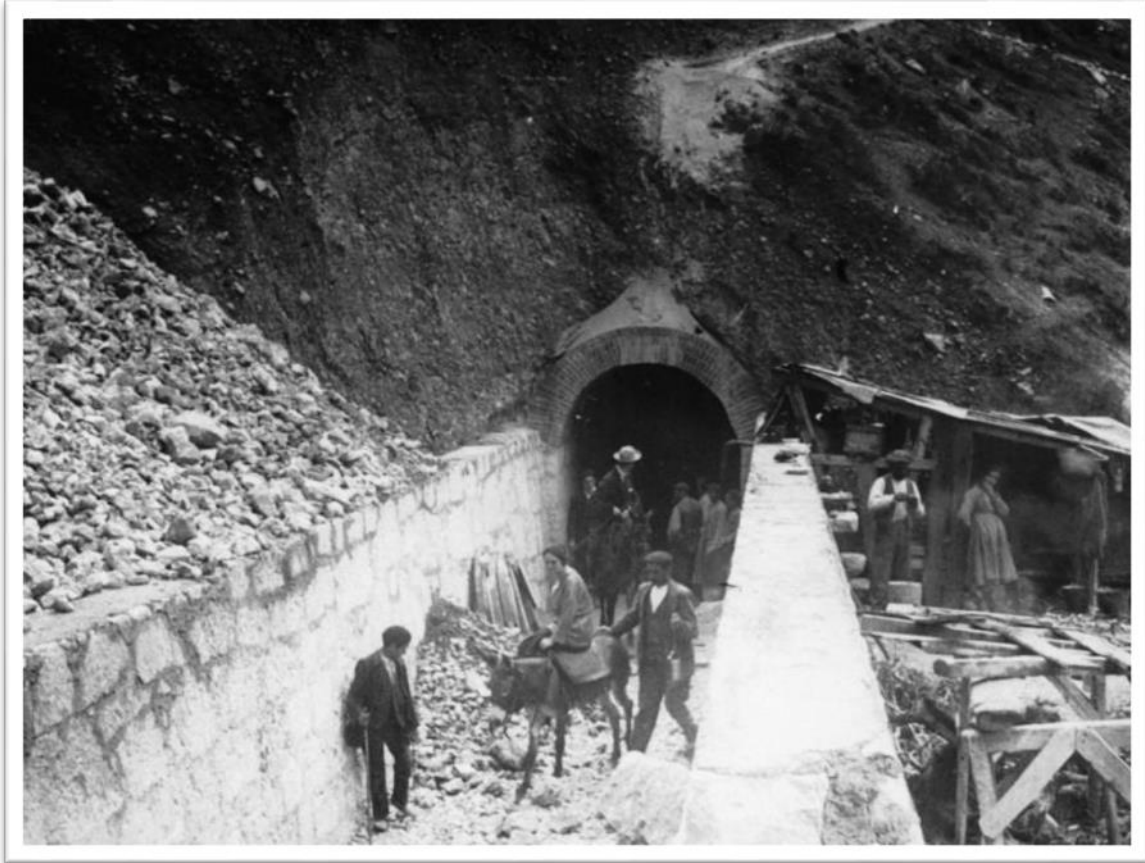


Figura 3. Construcción del canal que transporta el agua del Cares desde Caín a Poncebos. Foto: Paulino Díaz Antón (Diario de León).

El sendero actual (Figura 4), que se conoce como la Ruta del Cares (PR-PNPE 3, <http://magrama.gob.es>) y que atraviesa de Sur a Norte los Picos de Europa, se abrió entre los años 1945 y 1950 para poder proporcionar una mayor comodidad en cuanto a las labores de mantenimiento del propio canal. Discurre con un trazado prácticamente paralelo a la conducción de agua y aún hoy en día conserva los notables contrafuertes que sostienen el camino junto con numerosos túneles. La longitud de su recorrido es de aproximadamente unos 12 km.

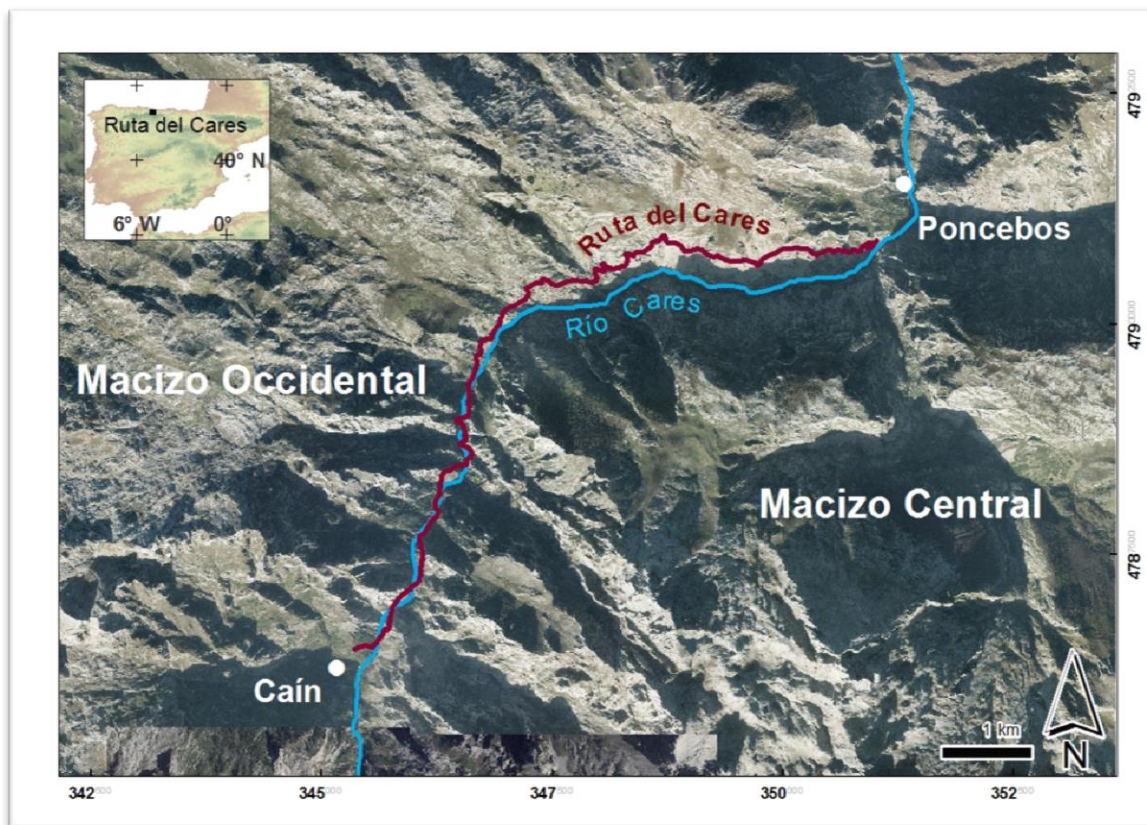


Figura 4. Localización de la Ruta del Cares entre el Macizo Occidental y el Central del Parque Nacional de Picos de Europa.

Desde el punto de vista paisajístico, al iniciar la Ruta desde la población de Caín, se aprecia un drástico cambio desde el valle relativamente amplio al angosto desfiladero. En este último, la senda discurre encajada en el macizo calcáreo y en muchos casos a través de túneles excavados en la roca. Aunque el propio Río Cares, junto con sus torrentes y arroyos afluentes, son los responsables de su origen, la génesis de la garganta está relacionada con otros procesos geomorfológicos que la han re trabajado y retocado hasta alcanzar el aspecto actual. A través del tiempo, además de los procesos fluviales y fluviotorrenciales, ha actuado la acción del hielo-deshielo, que ha ido debilitando el macizo. Además, sus enormes desniveles favorecen el desencadenamiento de diversos procesos asistidos por la gravedad, siendo muchos los depósitos de caída de rocas tipo canchales que se adosan a las laderas adenañas a la senda y que, en casos puntuales, llegan incluso a afectar al propio sendero. Por ello, determinadas áreas requieren de una especial atención por la peligrosidad que, la posible caída de bloques sueltos, supone para el desarrollo de la actividad turística.

El Parque Nacional de Los Picos de Europa es uno de los destinos turísticos españoles más visitados, concretamente, se encuentra en el segundo puesto de la Red de Parques Nacionales Españoles, precedido por el Parque Nacional del Teide (Trueba y Serrano Cañadas, 2011), con casi dos millones de visitantes al año, de los cuales unos cien mil

acceden por Posada de Valdeón, municipio al que pertenece Caín, y casi trescientos mil lo hacen por el concejo Asturiano de Cabrales, en el que se sitúa la población de Poncebos (Figura 4). De todos ellos, entorno a unos doscientos mil se adentran en la Ruta del Cares, donde la peligrosidad por procesos de ladera es un factor primordial a tener en cuenta.

Tabla I. Número de visitantes Parque Nacional de Los Picos de Europa, años 2009-2014. Fuente: memorias anuales del Parque Nacional de Los Picos de Europa (www.magrama.gob.es/es/red-parquesnacionales).

Año	Total visitantes Parque	Visitantes Valdeón	Visitantes Cabrales
2009	1.818.671	112.292	312.368
2010	1.610.341	118.855	300.900
2011	1.717.728	137.052	321.572
2012	1.556.124	112.852	271.442
2013	1.544.521	132.514	237.922
2014	1.842.272	155.585	252.564

Es necesario tener en cuenta que de todos los visitantes que recibe el Parque a lo largo del año, un 66% son turistas recreacionales, seguidos de estudiantes (16%) y turistas activos (10%). Y que tan sólo un 6,5 % son montañeros experimentados (Trueba y Cañadas, 2011). Estos datos ponen de manifiesto que la gran mayoría pertenecen a grupos con poca experiencia y escasos conocimientos de montaña. Por tanto, requieren de una información objetiva que les permita evaluar su propia vulnerabilidad y así poder conocer las dificultades y riesgos del camino en relación a sus propias habilidades, de forma que el objetivo principal de la actividad, disfrutar el paisaje, no se vea truncado con accidentes indeseados

Un mayor conocimiento de los posibles peligros geomorfológicos asociados a actividades de montaña contribuye a que los turistas sean más conscientes de los fenómenos naturales y de las situaciones de riesgo (Brandolini et al., 2006). Algunos autores como Coratza et al., (2008), elaboran “*geohiking maps*” en los que incluyen elementos del paisaje y los posibles peligros a los que se pueden ver sometidos los visitantes. Otros (Pelfini et al., 2007; Picazzo et al., 2007), sin embargo, se centran principalmente en la elaboración de mapas de peligro a lo largo de rutas turísticas.

El presente trabajo se centra en la elaboración de un mapa de peligrosidad por procesos de ladera a lo largo de la Ruta del Cares, cuyo fin es el de conocer los peligros y las características geomorfológicas del paisaje que puedan incrementar potencialmente la vulnerabilidad de los usuarios que la transiten. Teniendo en cuenta que el 20% (unos 120.000 al año) de los visitantes del Parque Nacional de Picos de Europa se pueden considerar usuarios potenciales de documentos interpretativos, tales como mapas geoturísticos, este

recurso puede ser de gran utilidad para mitigar cualquier tipo de peligro (“*hazard*”), considerando como tal la probabilidad de que un cierto fenómeno de inestabilidad geomorfológica ocurra en un cierto lugar con un cierto periodo de tiempo (Panizza, 1987). Además, resultará de gran utilidad para los gestores, técnicos y guardas del propio parque, ya que constituirá una herramienta más para facilitar la tarea de planificación y gestión en lo que se refiere a proteger tanto el parque como a sus diversos visitantes, dando también valor al terreno y al medio ambiente.

La caída de rocas es un fenómeno muy frecuente en esta ruta y puede suponer un impacto negativo con una disminución en el número de turistas debido al “*fear of risk*”, o lo que es lo mismo, miedo al riesgo (Ilies et al., 2011). Por lo tanto, cabe hacer hincapié en que este tipo de mapas en los que se señalará la posible peligrosidad de ciertos tramos no buscan generar alarma, sino poner a disposición de los gestores y visitantes del parque un instrumento útil para mitigar el riesgo.

2. Objetivos

Teniendo en cuenta el contexto anteriormente descrito se plantea este trabajo de investigación cuyo objetivo principal es analizar la peligrosidad asociada a procesos de ladera a lo largo de la Ruta del Cares, determinando los factores que la favorecen y qué tramos son los más peligrosos para los visitantes, con el fin último de llevar a cabo una cartografía de zonificación de dicha peligrosidad.

Con este estudio no se pretende fomentar una imagen negativa de la Ruta, sino más bien sensibilizar a los visitantes y minimizar los daños personales. Los mapas de zonificación de peligrosidad son una herramienta útil que proporcionaría al excursionista una imagen más clara y segura de la ruta y le haría consciente de los posibles riesgos a los que se puede ver expuesto al circular por la Senda.

3. Área objeto de estudio

3.1. Situación geográfica

La Senda del Cares discurre entre las provincias de León y Asturias (municipios de Posada de Valdeón y Cabrales, respectivamente) a lo largo del límite entre los Macizos Occidental y Central del Parque Nacional de Los Picos de Europa (Figura 5). Este espacio natural protegido se encuentra en el Norte de la Península Ibérica y, desde el 24 de abril de

2015, ocupa una superficie de 674.127 hectáreas distribuidas entre las provincias de Asturias (27.027 ha), León (24.719 ha) y Cantabria (15.381 ha) (BOE núm. 98 de 24 de abril de 2015).

Por su localización geográfica, en la denominada España atlántica, este Parque se sitúa en una zona de clima templado húmedo, cuyas características derivan de tres factores fundamentales, la proximidad al mar, la altitud y los efectos orográficos del relieve que hace que actúe como una barrera ante los frentes cargados de humedad procedentes del Mar Cantábrico. En general, las características climáticas vienen definidas por las abundantes precipitaciones a lo largo de todo el año, así como por la presencia de nubes bajas y nieblas. Las notables diferencias entre los fondos de los valles y la parte alta de los macizos se ponen de manifiesto en una variación de las precipitaciones en función del gradiente altitudinal, pasando de los 1000 mm/año en los fondos de los valles, a los más de 2500 mm/año estimados para la alta montaña. La nieve llega a cubrir gran parte de los macizos de diciembre a mayo. Las condiciones térmicas, por el contrario, son más homogéneas, con temperaturas medias anuales en torno a los 13°C en la vertiente meridional. Con la altitud el régimen térmico baja progresivamente, pasando de temperaturas medias de 10.5°C a 1078 m.s.n.m. a 7.01°C a los 1840 m.s.n.m. (Trueba, 2008).

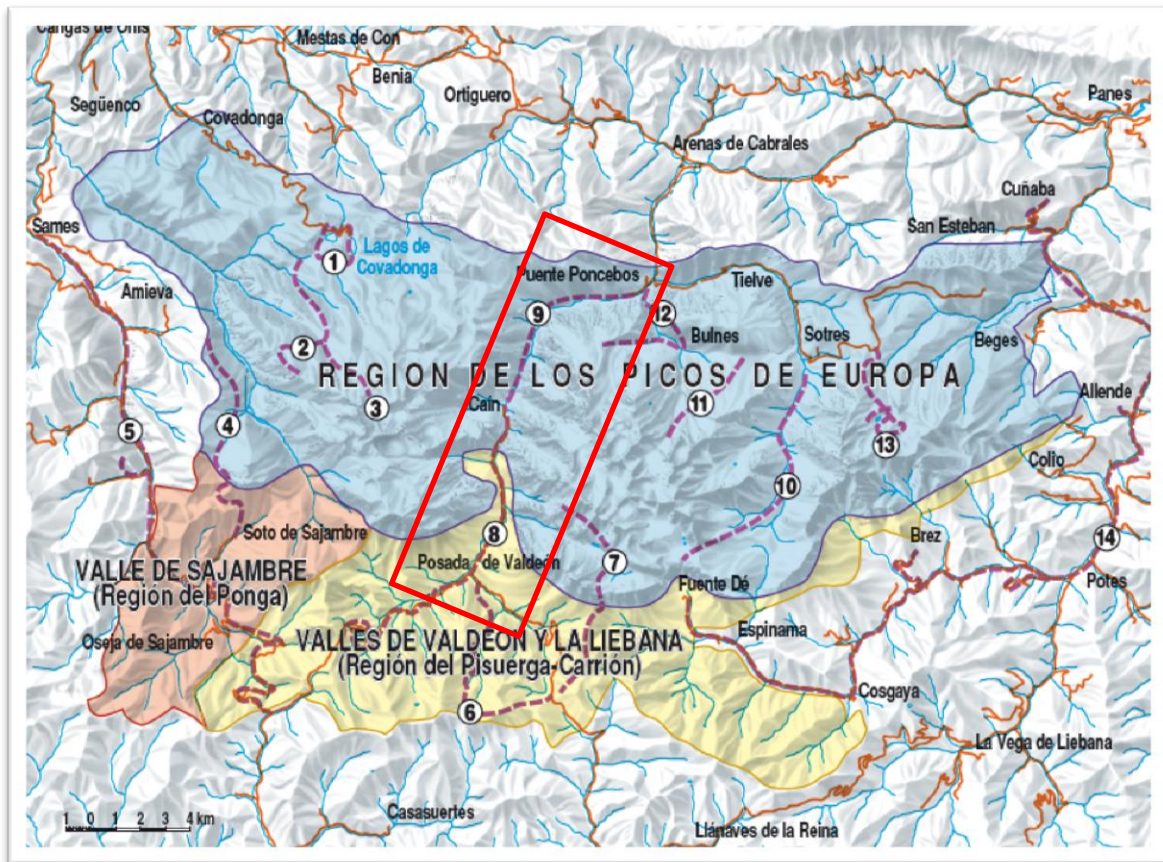


Figura 5. Ubicación de la Senda del Cares (entre los puntos 8 y 9) en el contexto del Parque Nacional de Los Picos de Europa (Figura tomada de la Guía geológica del Parque Nacional de Los Picos de Europa).

3.2. .Situación geológica

Los Picos de Europa constituyen una de las cinco regiones estructurales que integran la denominada Zona Cantábrica (Lotze, 1945), quedando limitado al Norte y al Oeste por la Región de Mantos o Manto del Ponga, al Sur por la Región del Pisuerga-Carrión y al Este por la cobertera sedimentaria mesozoico-terciaria que integra las montañas cántabras, burgalesas y vascas (Figura 6).

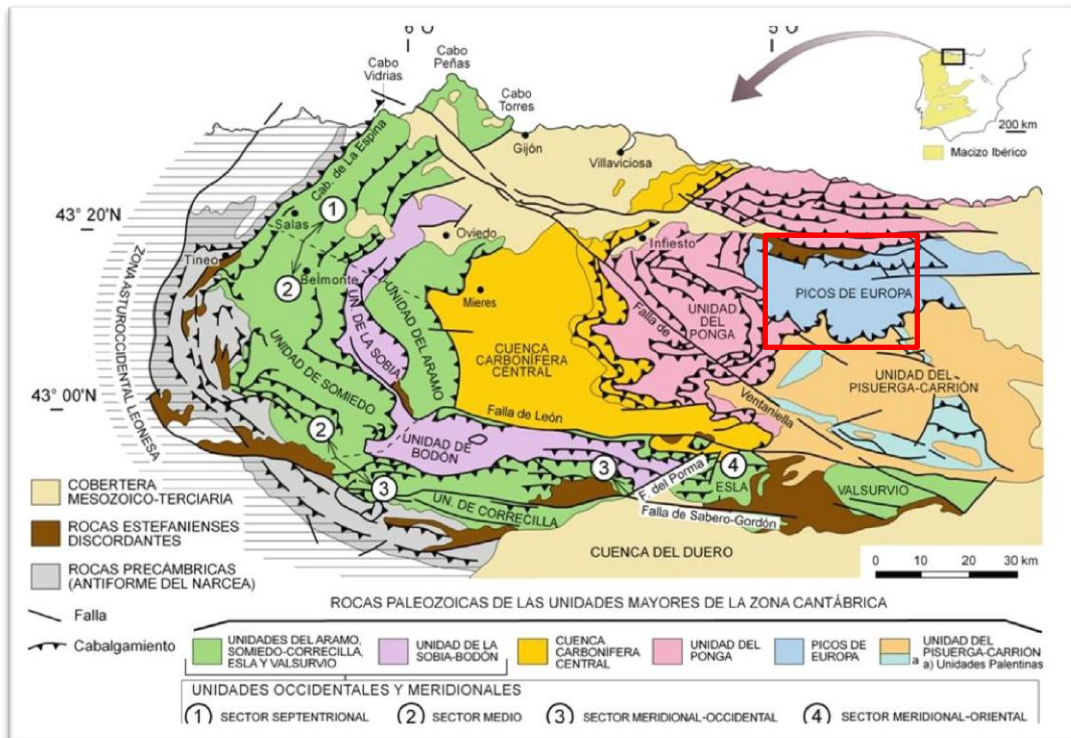


Figura 6. Situación del dominio de los Picos de Europa dentro de las unidades estructurales que componen la Zona Cantábrica (Figura tomada de Pérez-Estaún y Bea, 2004).

A lo largo de la Senda que discurre por la Garganta del Cares es posible reconocer diferentes litologías, en su mayoría de edad carbonífera, aunque también aparecen rocas de edad ordovícica y devónica: Fm. Barrios, Fm. Ermita, Fm. Vegamián, Fm. Candamo-Baleas, Fm. Alba, Fm. Barcaliente, Fm. Valdeteja y Fm. Picos de Europa (Figura 6). Una de las primeras formaciones calcáreas carboníferas que nos encontramos en la Ruta del Cares es la conocida como Formación Alba o “Caliza Griotte”, constituida por calizas nodulosas y tableadas de tonalidades rojizas que suelen presentar niveles arcillosos de edad Viseense Inferior-Namuriense Inferior (Martínez Álvarez, 1965; Marquínez, 1978 y 1989; Martínez García, 1981; Farias, 1982; Sánchez y Truyols, 1983; Truyols, 1983). Las intercalaciones arcillosas propias de la “caliza griotte” hacen que con frecuencia se encuentre plegada debido a su marcada incompetencia. Únicamente aflora en áreas puntuales como, por ejemplo, en el sector comprendido entre el Puente de los Rebecos y el Puente de Bolín, así como al Norte de la Canal de Culiembro y en la Canal del Saygu.

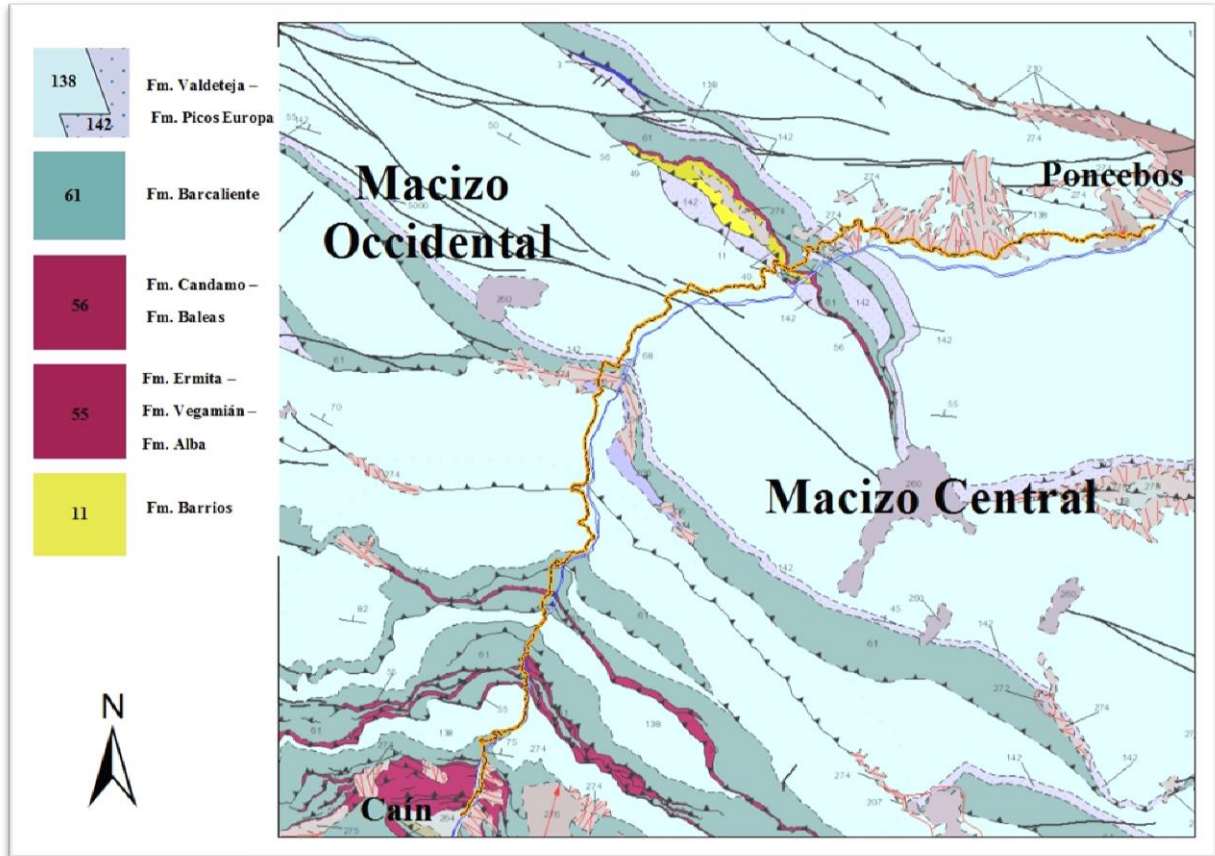


Figura 7. . Mapa geológico de la Senda del Cares y su entorno. Fuente: GEODE, 2016.

Por encima de la “Caliza Griotte” y en contacto concordante se dispone una potente formación de materiales calcáreos, conocida como la “Caliza de Montaña” con una edad Namuriense A-Westfaliense A Inferior con un espesor de unos 500 metros aproximadamente. Dentro de la misma, se pueden diferenciar dos partes, una inferior, la “Formación Barcaliente” constituida por calizas tableadas, negras, fétidas y con niveles de chert, y una superior, la “Formación Valdeteja”, compuesta por calizas grises (Marquínez, 1978 y 1989; Martínez García, 1981; Farias, 1982; Sánchez y Truyols, 1983; Truyols, 1983; Martínez et al., 1984;).

La “Formación Picos de Europa” (Westfaliense B-Cantabriense), también de notable potencia, está constituida por dos miembros: uno inferior de calizas claras tableadas que alterna con pizarras y otro superior formado por calizas masivas de tonos grises o rosados (Maas, 1974; Marquínez, 1978; Farias, 1982; Martínez y Rodríguez, 1984).

En algunas partes, como ocurre en la zona conocida como Los Collados, las calizas se encuentran dolomitizadas, pudiéndose reconocer afloramientos de colores ocres resultantes de la circulación de fluidos hidrotermales a través calizas preexistentes.

En resumen, se puede afirmar que las dos formaciones predominantes y que cubren casi la totalidad, tanto de la senda como del propio macizo, son calcáreas y de edad carbonífera: “Calizas de Montaña” y “Formación Picos de Europa”. De las que cabe destacar

que, debido a su cohesión y configuración mecánica, han originado laderas de fuerte inclinación e importantes desniveles con escarpes rocosos.

Sin embargo, en ocasiones, las rocas se encuentran fuertemente fracturadas y diaclasadas, por lo que se disgregan con cierta facilidad y ejercen como área fuente de derrubios. Por otra parte, su tendencia a la disolución en presencia de agua y CO₂, hace que se generen numerosas oquedades que pueden ser divisadas a lo largo de la Ruta del Cares y llaman la atención por el uso que le dan los ganaderos como refugio para reses (Figura 8).



Figura 8. En primer plano: protección para evitar la caída de rocas al canal del Cares. En Segundo plano: aprovechamiento de una oquedad como aprisco de ganado.

Durante el Carbonífero, y más concretamente, a partir del Viseense, en el dominio de la región de Picos de Europa se generó una sedimentación esencialmente de tipo carbonatada. El comienzo de dicha sedimentación se desarrolla en un ambiente somero y con abundancia de arcillas, responsable de la deposición de la “caliza Griotte”. A partir del Namuriense se pasa a una sedimentación carbonatada de plataforma que prosigue durante el Westfaliense, depositándose las “calizas de Montaña” y las “calizas de Picos de Europa”.

A finales del Carbonífero tiene lugar un importante periodo de deformación y fracturación de los materiales: la Orogenia Hercínica, principal responsable de la formación del apilamiento de calizas de los Picos de Europa. Así se produjo la acumulación de una serie de escamas cabalgantes de rumbo aproximado E-W y fuerte vergencia sur (Marquínez, 1978; Farias, 1982; Muñoz, 1982; Julivert y Navarro, 1984). Dicha serie de cabalgamientos tienen sus superficies de despegue a favor de la “caliza griotte” quedando éstas, por tanto, sin apenas

afloramientos en superficie salvo estrechas franjas limítrofes al macizo, especialmente apreciables en su parte más occidental. Uno de los resultados más significativos de este proceso tectónico consiste en la repetición de la serie calcárea lo que provoca espesores que pueden llegar a alcanzar más de 3000 m. Simultáneamente y con posterioridad al levantamiento mayoritario del área, la sedimentación continúa, tal y como demuestra la existencia de diversas cuencas estefanienses fundamentalmente de tipo turbidítico, situadas en su mayor parte al N y al S del conjunto en levantamiento (Marcos, 1967; Merino Tomé, 2004).

La configuración estructural que hoy conocemos es el resultado de otro movimiento tectónico, la Orogenia Alpina, que tuvo lugar durante el Cenozoico y fue la responsable del rejuvenecimiento del relieve. Este nuevo periodo supuso la reactivación de los cabalgamientos y las fallas hercínicas, así como la aparición de nuevos sistemas de fallas que elevan todo el conjunto de los Picos de Europa, tanto sobre las cuencas intramontañas de Valdeón, Sajambre y Liébana, situadas inmediatamente al Sur, como sobre el sector ubicado al Norte de dichos macizos, en el que tuvo lugar un paulatino hundimiento de los bloques de Sur a Norte (Marquínez, 1978; Julivert y Navarro, 1984).

Tras este último episodio tectónico, todo el conjunto es sometido nuevamente a la erosión por parte de los agentes geológicos externos que van moldeando el relieve hasta obtenerse la configuración que hoy conocemos.

La morfología actual se debe, en gran parte, al retoque y modelado ejercido por los glaciares cuaternarios que cubrían buena parte de Los Picos de Europa y por la disolución kárstica (Jiménez-Sánchez y Farias, 2002; Moreno et al., 2010; Jiménez-Sánchez et al., 2013, Ballesteros, 2016), generando un relieve abrupto con formas alpinas caracterizadas por la existencia de grandes desniveles y paredes verticales. Aunque los fondos de valle de la parte baja y las principales gargantas periféricas no estuvieron cubiertos por los glaciares, sí que se encontraron sometidas a unas condiciones periglaciares extremas y además, las aguas de fusión de los glaciares contribuyeron a acentuar la profundización y encajamiento de los ríos y arroyos en las gargantas (González Trueba y Serrano Cañadas (2011b).

La karstificación también ha tenido un papel destacado en la construcción del relieve de los Picos de Europa. El desarrollo de importantes sistemas kársticos se refleja en un complejo espacio subterráneo con características propias y singulares formas exógenas, además de contribuir a que la red de drenaje superficial pierda significancia frente a la circulación subterránea (Ballesteros et al., 2013a; Ballesteros et al., 2013b; Ballesteros et al., 2013c; Ballesteros 2016; Jiménez-Sánchez et al., 2004). A todo ello hay que añadirle una serie de procesos geomorfológicos complementarios que han venido a retocar las formas mayores. Así, los grandes desniveles existentes dan lugar a laderas de fuerte pendiente que favorecen el desencadenamiento de los procesos asistidos por la gravedad (Jiménez-Sánchez et al., 2014; Ballesteros, 2016). En estas áreas son frecuentes los movimientos en masa del terreno (Innes, 1983; Johnson y Rodine, 1984) que generalmente suelen ser desencadenados por intensos episodios de precipitaciones que ocasionan un incremento de la presión de agua-poro (Corominas, 1999; Beguería, 2006).

En la Ruta del Cares, así como en las áreas de montaña de la mayoría de dominios climáticos, la caída de rocas es uno de los procesos más comunes en la evolución natural de las pendientes rocosas (Selby, 1982; Marquínez et al., 2003; Royán y Vilaplana, 2012; Whalley, 1984). En el entorno de la Ruta del Cares son muy frecuentes los desprendimientos definidos por Copons (2007) como toda masa rocosa que se separa de una ladera y que se fragmenta en cuerpos rocosos más pequeños que se propagan ladera abajo mediante caída libre, rebotando y/o rodando. Los depósitos de este tipo de eventos son un conjunto de bloques rocosos caóticos, sin orden ni disposición en relación a su volumetría.

4. Metodología

En este apartado se describe la metodología que se ha seguido para la elaboración del presente trabajo y que ha supuesto la realización de las siguientes tareas: i) recopilación bibliográfica y de eventos de inestabilidad de laderas, ii) recopilación de datos de litologías, formaciones superficiales, datos climatológicos e incendios iii) trabajo de fotointerpretación a partir de fotografía aérea, iv) trabajo de campo, v) elaboración de una base de datos de toda la información previamente obtenida mediante SIG, vi) tratamiento y análisis de la información mediante SIG y vii) elaboración de una cartografía de peligrosidad.

4.1. Recopilación bibliográfica y de eventos de inestabilidad de ladera

La primera tarea desarrollada ha consistido en recopilar los trabajos previos recogidos en la bibliografía científica relacionados con la Ruta del Cares, con procesos de estabilidad de laderas, con patrimonio geológico, geoturismo, etc.

La utilidad de los registros históricos para identificar eventos geomorfológicos, tanto presentes como pasados, y para predecir su ocurrencia en el futuro ha sido demostrada por diversos autores (Garland and Olivier, 1993; Brundsen and Ibsen, 1994; Chandler y Brundsen, 1995). Muchos de estos registros se elaboran con fines de investigación, sin embargo, cuando este tipo de fenómenos afectan directamente a la población, como por ejemplo a su infraestructura, éstos se encuentran ampliamente documentados en la prensa, principalmente en los periódicos locales, como han demostrado trabajos previos (Domínguez-Cuesta et al, 1996 y 1999). En este trabajo, con el fin de recabar datos sobre los eventos de inestabilidad de laderas ocurridos en la Ruta, se ha llevado a cabo una búsqueda exhaustiva en las hemerotecas digitales correspondientes a tres medios de comunicación de prensa escrita: El Diario de León, entre el año 2002 y febrero de 2016, El Comercio, desde 2001 a febrero de 2016 y La Nueva España, desde 2001 a febrero de 2016. Las búsquedas se han realizado a través de las palabras clave: “Cares”, “senda”, “desfiladero”, “ruta”, “desprendimientos”, “caída de rocas” “argayo” y “deslizamiento”. Hay que tener en cuenta que muchas de las

publicaciones se repiten o se publican durante varias tiradas diferentes con la única distinción de un ligero aumento en la información, por lo tanto, es imprescindible analizar todas las noticias una a una para seleccionar las adecuadas y descartar las que carecen de utilidad.

Todas las noticias de prensa halladas fueron posteriormente leídas, analizadas y sintetizadas para recoger la información de interés en una base de datos (BD) que permita un fácil y rápido acceso a la información.

Por otro lado, también se llevó a cabo una búsqueda en el archivo de avisos recibidos en el Servicio de Emergencia del 112 Asturias. En este caso, y ante la imposibilidad de hacerlo personalmente, la búsqueda se realizó a través de los operarios de la BD del 112 Asturias mediante una única palabra clave: “Cares”. El hecho de no poder refinar más la búsqueda supuso que en el fichero de resultados se almacenaran muchos *falsos resultados* como pueden ser avisos de diversa índole relacionados con las calles Cares de Gijón o de Oviedo, etc. Las reseñas que verdaderamente corresponden a incidencias ocasionadas por procesos de ladera en la Ruta del Cares produjeron diversas llamadas al 112, que aportan diferente información que contribuye a completar los datos del evento.

Además, se revisaron las memorias anuales del Parque Nacional de Picos de Europa de los años 2010 a 2014 accesibles a través de la web <http://www.magrama.gob.es/es/red-parques-nacionales/>.

4.2. Recopilación de los datos de litologías, formaciones superficiales, climatología e incendios.

La información correspondiente a las litologías de la zona de estudio así como las distintas formaciones superficiales que las cubren se ha recopilado a partir de diversas fuentes de documentación. En el año 2002, la Consejería de Infraestructuras, Política Territorial y Vivienda del Gobierno del Principado de Asturias publicó la Cartografía Temática Ambiental del Principado. Se trata de una cartografía digital de la provincia de Asturias a escala 1:25.000 organizada en diferentes capas de diversa información. En el presente trabajo se han utilizado las capas de litología y recubrimientos superficiales.

También se accedió a datos referentes a litología y estructura del sustrato, a escala 1:50.000, a través de conexión remota mediante un Servicio ArcGis Server a la información del GEODE de la Zona Cantábrica (www.info.IGME.es).

Además, se ha recopilado la cartografía geomorfológica del Macizo Central del Parque Nacional de Picos de Europa elaborada por González Trueba (2007) y la del Macizo Occidental por González Trueba y Serrano Cañadas (2011). Dado que estas cartografías están en papel se ha procedido a su escaneado y digitalización para poder integrarlas en el Sistema de Información Geográfica (ArcGis 10.0). Para llevar a cabo esta tarea, primero se

georreferencian los mapas, tras lo cual se crean *new shapefiles* que permitirán la digitalización de las unidades geomorfológicas una a una mediante la herramienta *start editing* que se encuentra en la extensión *editor toolbar*.

Por otro lado, como la caída de rocas está muy relacionada con factores meteorológicos que actúan como factores desencadenantes tales como los ciclos de hielo-deshielo (Matsuoka y Sakai, 1999), precipitaciones (Fernández y Vilaplana, 2004), aumento de la humedad en las rocas (Sass, 2005) y aumento de la temperatura media anual (Davies et al., 2001), se han recopilados datos meteorológicos de diversa índole. De esta manera se puede hacer una comparativa entre las caídas de rocas que han tenido lugar a lo largo de la Ruta del Cares con la climatología de la zona.

Se han descargado los datos de precipitación mensuales correspondientes al periodo comprendido entre 1981 – 2010 de varias estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Se han seleccionado por su cercanía a la Ruta del Cares un total de 6 (Figura 9) estaciones tres de la vertiente asturiana (Tabla II) y otras tres pertenecientes a Castilla y León (Tabla III). Las más cercanas a la senda están señaladas con un asterisco.

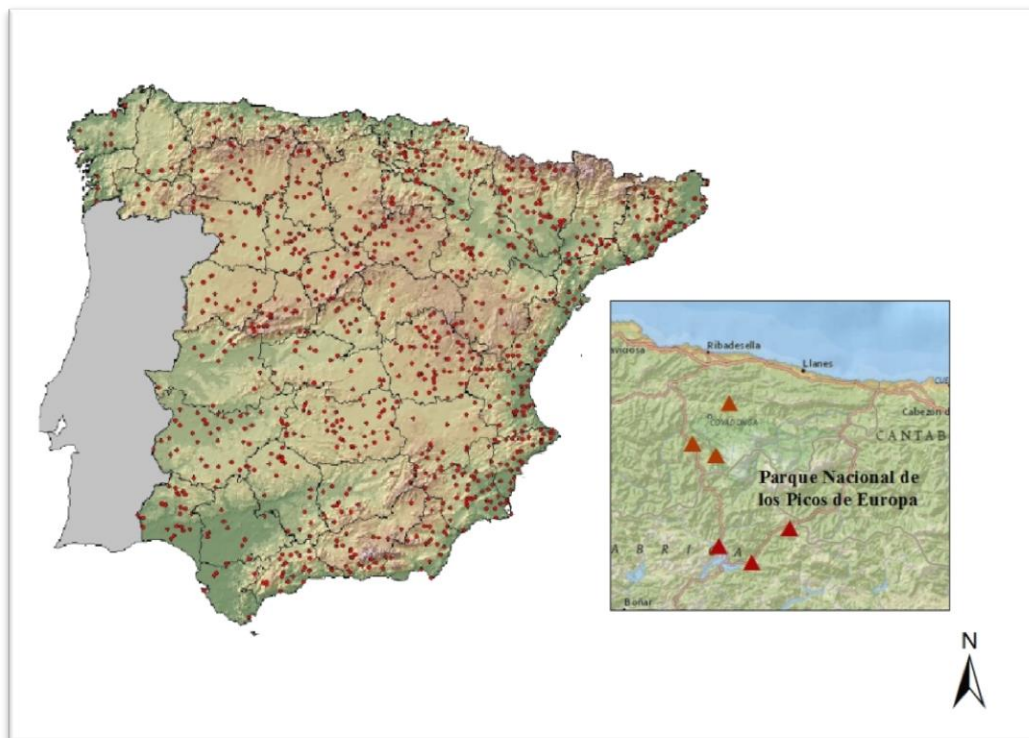


Figura 9. Distribución de las estaciones meteorológicas de la AEMET en la Península Ibérica. Fuente: Botey et al., 2013.

Tabla II. Datos medios de precipitación mensual 1981-2010 (Asturias). Fuente: Botey et al., 2013.

Ind	Nombre estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
11861	Amieva (Camporriandi)	119.7	110.7	115.0	126.3	112.4	65.8	5.3	60.9	69.7	113.7	145.6	126.5
1191	Amieva (Restañu)	162.9	152.2	149.6	167.5	149.3	101.7	73.0	83.4	106.4	165.1	202.6	172.9
11921	*Benia	144.4	126.5	129.5	150.7	11.7	75.9	58.1	75.9	84.2	140.5	180.3	150.4

Tabla III. Datos medios de precipitación mensual 1981-2010 (León) . Fuente: Botey et al., 2013.

Ind	Nombre estación	Ene	Feb	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2621E	Lánaves de la Reina	136.6	117.3	102.5	124.2	107.8	62.0	37.5	36.9	71.3	132.6	164.2	159.4
2623	*Boca de Huérgano	129.1	114.4	107.4	122.4	109.7	58.0	31.9	38.3	71.9	152.7	155.4	150.4
26241	Embalse de Riaño	130.3	105.2	105.3	114.2	110.8	54.0	35.6	39.3	71.0	159.9	154.5	154.1

Los datos de los recursos hídricos acumulados en forma de nieve se han obtenido del programa ERHIN (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) que se centran en el estudio de la cuantificación del volumen de agua almacenada en forma de nieve, así como en la previsión de su evolución. La información usada en este trabajo pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Cantábrico (Figura 10) y dentro de ésta a la Cuenca del Cares (Figura 11) con una superficie de 454.9 km², una cota media de 1159 metros y una cota de inicio de nieve de unos 2100 metros.



Figura 10. Cuenca Hidrográfica del Cantábrico

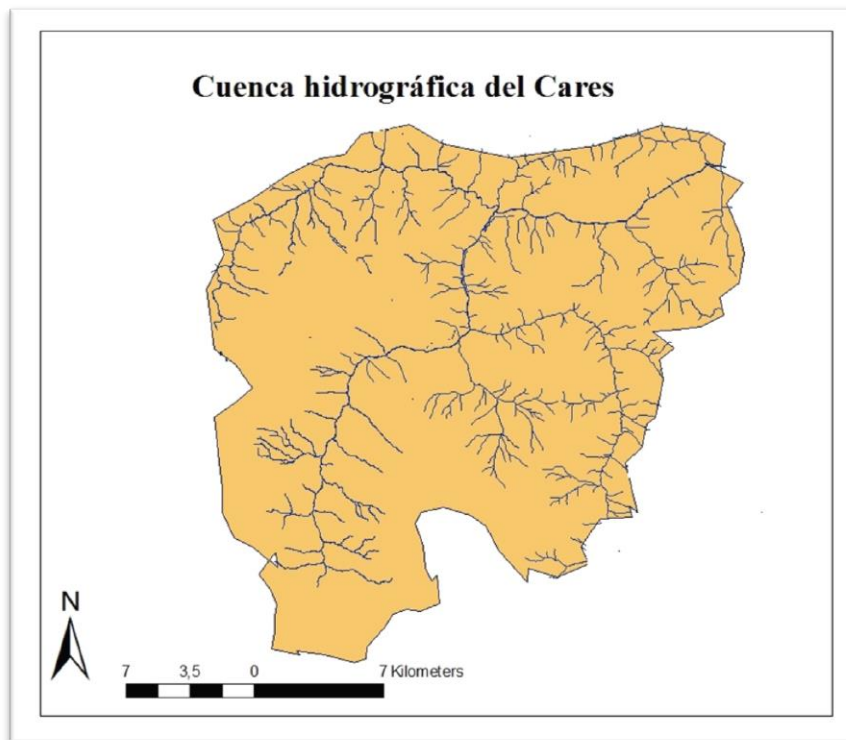


Figura 11. Cuenca hidrográfica del Río Cares

Se dispone de datos comprendidos entre los años 2011 y 2014 a partir de los cuales se ha confeccionado una tabla (Tabla IV) en la que se recopila la información más relevante y de mayor utilidad para el presente informe: la superficie innivada en km² y su porcentaje, la primera cota con área innivada junto con el área innivada en km² y su porcentaje.

Tabla IV. Recursos hídricos acumulados en forma de nieve. Cuenca del Cares. 2011-2014. Fuente: ERHIN.

Fecha	Sup. Innivada (km2)	% sup. Innivada	Cota más baja innivada (m)	Área innivada (km ²)	Área innivada acumulada (%)
24.11.2011	17.4	3.8	1900-2000	1.2	0.3
02.12.2011	16.7	4.1	1800-1900	0.6	0.1
19.12.2011	329.5	72.4	600-700	6.9	5.8
25.12.2011	127.4	28	1300-1400	5.8	2
10.01.2012	53.9	11.9			
25.01.2012	30.3	6.7	1800-1900	2.4	0.6
11.02.2012	336	73.9	600-700	10.2	8.6
18.02.2012	301.2	66.2	600-700	5	4.2
27.02.2012	227.5	50	900-1000	5	2.8
22.03.2012	196.2	43.6	800-900	3.4	2.2
25.03.2012	118	25.9	1200-1300	1.7	0.6
08.04.2012	ND	ND	ND	ND	ND
19.05.2012	29.7	6.5	1700-1800	1.2	0.3
02.03.2013	384.1	84.4	400-500	17.8	23.2
15.03.2013	431.8	94.9	200-300	14	54.4
14.04.2013	172.5	37.9	1200-1300	9.2	3.5
20.04.2013	138.9	30.5	1200-1300	4	1.5
04.05.2013	240.4	52.9	1000-1100	15.7	7.6
13.05.2013	53.4	20.5	1500-1600	9	2.6
03.03.2013	74.2	16.3	1500-1600	3	0.9
16.06.2013	44.2	9.7	1500-1600	0.2	0.1
30.06.2013	34.4	7.6	1700-1800	1	0.3
06.07.2013	16.7	3.7	1600-1700	1	0.3
17.07.2013	9.4	2.1	1800-1900	0.5	1
28.11.2013	256.8	63.1	900-1000	20.4	11.3
07.12.2013	248.8	54.7	1000-1100	14.6	7.1
15.12.2013	209.1	46	1000-1100	10.7	5.2
16.02.2014	185.1	40.7	1000-1100	2	1
08.03.2014	218	47.9	200-300	1	3.9
04.05.2014	47.5	10.4	1400-1500	0.5	0.2

Los incendios pueden provocar un aumento en la caída de rocas debido a que las altas temperaturas inducen cambios en el estado de estrés de las rocas (Guido et al. 2013). Además, uno de sus principales efectos es la pérdida de cobertura vegetal junto con suelo de bosque y alteraciones de las propiedades físicas del suelo, por lo que se puede incrementar notablemente el flujo superficial, la erosión y los movimientos en masa (Jordan, 2009). En muchas ocasiones, la vegetación viva actúa como barrera frente a la caída de rocas, por tanto, una quema de la misma supondría la pérdida de esta barrera protectora natural son el consiguiente aumento de la peligrosidad. Si existe un área que ya ha tenido anteriormente problemas de caída de rocas a lo largo de su historia, como es el caso de la Ruta del Cares,

esta se verá fuertemente incrementada a causa de un incendio, observándose los efectos ya en las primeras semanas-meses. Volvería a su actividad normal tras el transcurso de uno o dos años (De graft, 2012).

Las provincias del Noroeste destacan en los mapas de los grandes incendios forestales que tienen lugar a lo largo de toda la península ibérica (Figura 12). En el caso de la cornisa cantábrica, los incendios suelen darse en los cambios estacionales, invierno-primavera y otoño-invierno. Suelen tener lugar, entre otros, en macizos montañosos de rápida infiltración como es el caso de la Ruta del Cares.

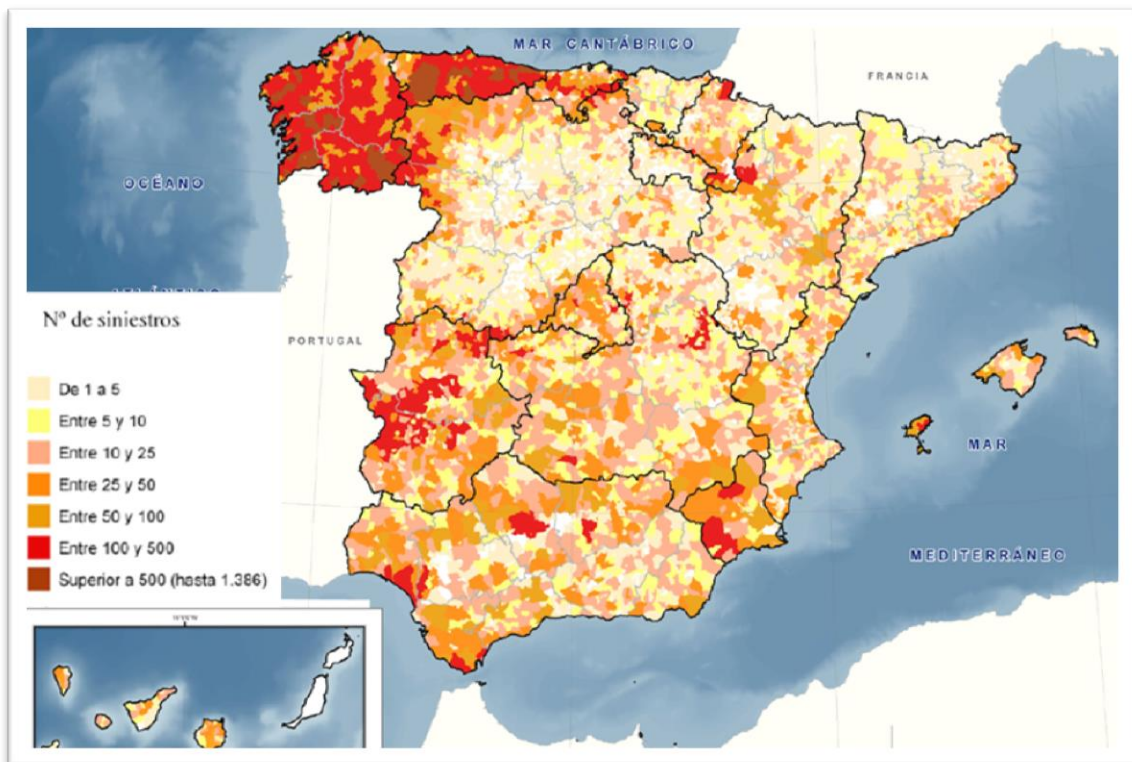


Figura 12. Número de incendios por término municipal 2001-2010 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

Se han recopilado todos los datos de incendios disponibles en el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Se han organizado en una tabla (Tabla V) en la que se indican los meses con mayor número de siniestros en las áreas del Noroeste. Los datos se corresponden a los decenios 1991-2000, 2001-2010 y los años 2011, 2012 y 2013.

Tabla V. Áreas con mayor número de incendios por mes (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

Años	Área	Mes	Nº de siniestros
1991-2000	Noroeste	Agosto	30000
1991-2000	Noroeste	Marzo	25000
1991-2000	Noroeste	Septiembre	21000
2001-2010	Noroeste	Agosto	20000
2001-2010	Noroeste	Marzo	15500
2001-2010	Noroeste	Septiembre	15000
2011	Noroeste	Octubre	2300
2011	Noroeste	Abril	1250
2011	Noroeste	Marzo	1200
2012	Noroeste	Marzo	2750
2012	Noroeste	Febrero	1300
2013	Noroeste	Septiembre	1600
2013	Noroeste	Agosto	1400

4.3. Recopilación fotografía aérea y fotointerpretación.

El principal proceso de ladera que afecta a la Ruta del Cares y que pone en riesgo a los viandantes es la caída de rocas. Las cartografías previas no recogen de manera sistemática a lo largo de toda la Ruta la posición de los canchales, que son las principales acumulaciones originadas por este tipo de fenómenos. En este trabajo se han utilizado fotografías aéreas adquiridas en el Instituto Geográfico nacional (IGN) por el Departamento de Geología correspondientes al vuelo del año 2011 del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea, PNOA, con resolución 10 cm y ortofotografías del mismo vuelo con resolución 25 cm. Además, se han descargado a través del Centro Nacional de Descargas de Información Geográfica (CNIG) ortofotografías a escala 1:50.000 de tamaño de píxel 25 cm y año de captura de los datos 2014. Estas herramientas han sido útiles para identificar sobre la fotografía aérea las áreas ocupadas por depósitos de caída de rocas y delimitar las zonas de diferente peligrosidad. Las ortofotografías han permitido transferir esta información al Sistema de Información Geográfica (ArcGis 10.0). Posteriormente, esta información ha sido comprobada y rectificada en las expediciones de campo. Esta cartografía y digitalización de las acumulaciones de bloques aporta una idea de la actividad de la ladera en función de todo el material que llega a movilizar.

Royán y Vilaplana (2012), realizan un análisis espacio-temporal de los desprendimientos de rocas mediante la fotointerpretación de los mismos a partir de fotografías aéreas de distintos años. Esta metodología les permite distinguir determinados rasgos característicos que van dejando a su paso, así como localizar desprendimientos antiguos. Toda la información así obtenida es una herramienta útil para discernir entre áreas propensas a este tipo de fenómenos o distinguir diferentes grados de peligrosidad. Tanarro y Muñoz (2012)

también se sirven de este tipo de metodología para la realización de un inventario y de un análisis estadístico de la caída de rocas en el Cañón de Duratón (España).

4.4. Trabajo de campo.

El trabajo de campo ha sido esencial en esta investigación para establecer la zonificación de la peligrosidad respecto a las inestabilidades de ladera, ya que en muchas ocasiones la Senda discurre excavada en el propio macizo, con paredes prácticamente verticales que producen amplias zonas de sombras, lo que hace imposible reconocer el trayecto de los fragmentos de roca a partir de las fotografías aéreas.

Con el fin de analizar la estabilidad de las laderas vertientes a la senda del Cares, se llevaron a cabo tareas de reconocimiento y toma de datos durante una campaña de campo. Ello permitió reconocer in situ las diferentes casuísticas en las que se encuentra la Senda del Cares en relación a las laderas que tiene por encima y establecer una zonificación en función de la situación del camino respecto a los fondos de las vaguadas, las zonas de lomas, las zonas de escarpes, áreas con canchales, etc.

Además, las expediciones de campo han permitido evaluar la calidad de los datos recopilados, contrastando en el campo la información procedente de las diversas fuentes. Entre otras muchas actividades, se han observado in situ las áreas de la senda que se han visto alteradas por desprendimientos, así como la identificación de las posibles fuentes de materiales que originarían dichas alteraciones. Se ha contrastado la ubicación de todos los canchales observados en las fotografías aéreas y gracias a una observación directa de los mismos se han podido delimitar de manera más precisa. De la misma manera, se ha realizado una observación detallada de los canales y el grado de actividad de los mismos. A su vez, se ha discernido entre diferentes grados de peligrosidad por procesos de ladera a lo largo de toda la senda en función de la morfología del macizo, de la disposición de la senda y de los materiales propensos a moverse. Distinciones que por otra parte no habrían sido posibles de determinar sin trabajo de campo.

Todo ello nos ofrece una imagen más completa y detallada de la ruta y del grado de peligrosidad de la misma.

4.5. Diseño de fichas de datos y elaboración de una base de datos mediante SIG.

Con el fin de facilitar el procesado de los datos obtenidos se han diseñado y elaborado 3 fichas integradas por diferentes campos en los que se sintetiza la información extraída previamente. Estos campos son de tipo numérico o de tipo texto y contienen los aspectos que se han considerado más relevantes para este trabajo. La primera ficha (Ficha I) recoge todos

aquellos procesos de ladera recopilados entre los años 2001 y 2016 que han causado tanto daños materiales como humanos. Los campos que la comprenden son: la fuente de la que proviene la información, la fecha en la que tiene lugar el proceso, así como la tipología del mismo (campo proceso), la causa que lo desencadena, los posibles daños a los visitantes y/o a la propia senda, la zona en la que tiene lugar el proceso y, finalmente, un campo dedicado a anotaciones que pueden ser de cierto interés. Cabe señalar que no siempre se dispone de toda la información, por tanto, en algunos casos puntuales la ausencia de la misma se señalará con las palabras “no especificada”.

Ficha I. Procesos de ladera que han causado daños materiales y/o humanos en la Ruta del Cares entre los años 2001 y 2016.

Fecha	Fuente	Proceso	Causa	Daño senda	Daño civiles	Zona	Anotaciones

Una segunda ficha (Ficha II) en la que se recogen todos los avisos, advertencias y alertas de peligrosidad de procesos de ladera emitidas por el Parque Nacional de Picos de Europa. Al igual que la anterior, cuenta con un campo de fuente de información y otro de fecha, seguido del tipo de advertencia emitida y la causa que la origina.

Ficha II. Alertas de peligrosidad en la Ruta del Cares emitida por el Parque Nacional de Picos de Europa entre los años 2001 y 2016.

Fecha	Fuente	Advertencia emitida	Causa

Finalmente, en una tercera ficha (Ficha III) se recopilan todos los accidentes que han vulnerado en algún momento la integridad de los turistas que realizaban la Ruta del Cares. Los casos recogidos en esta tabla, a diferencia de los anteriores, son ajenos a factores relacionados con la geología. Además de la fuente y fecha, se cita el número de visitantes accidentados, la causa y la zona en la que tiene lugar, aunque esta última no siempre ha podido ser identificada.

Ficha III. Turistas accidentados en la Ruta del Cares entre los años 2001-2016 por causas ajenas a la geología

Fecha	Fuente	Visitantes accidentados	Causa	Zona

Toda esta información ha sido integrada en una base de datos georreferenciada en la que cada evento es identificado con un punto que, en ocasiones, ha podido ser situado con precisión a partir de las referencias espaciales facilitadas y en otras ocasiones, representa un cierto grado de imprecisión, indicándose convenientemente en la base de datos. Es necesario tener en cuenta que la base de este trabajo son las noticias de prensa, en las que los datos de las ubicaciones de procesos de ladera carecen de coordenadas y en la mayoría de los casos ni siquiera existen referencias espaciales aproximadas. La situación de aquellos casos que se han podido ubicar se ha realizado mediante ArcGis 10.0 creando *shapefiles* tipo *point*.

4.6. Tratamiento y análisis de la información mediante SIG

Una vez obtenida toda la información relevante se procede a su tratamiento mediante Sistemas de Información Geográfica, concretamente, en el presente trabajo se ha utilizado el software ArcGis 10.0. Diversos autores utilizan este tipo de programas para crear mapas de susceptibilidad de caída de rocas y/o conocer la influencia que determinados factores tienen sobre este tipo de procesos (Ayala-Carcedo et al. 2003; Frattini et al. 2008; Hengxing et al. 2010; Menéndez-Duarte y Marquínez, 2002). Otros muchos, utilizan técnicas de Gis para la evaluación del peligro de deslizamientos y la elaboración de mapas de susceptibilidad (Barredo et al. 2000; Conoscenti et al. 2008; Corominas et al. 2003; Mohammadi et al. 2014; Pradhan y Lee, 2007; Santacana et al. 2003).

En la primera fase se realiza una unión y una reclasificación de la cartografía de las hojas 55 y 56 mediante SIG para así obtener una cartografía continua de las formaciones superficiales a lo largo de la toda la Ruta del Cares y alrededores. De esta manera obtenemos dos capas digitales de información para toda la zona objeto de estudio. En el mapa de recubrimientos superficiales procedente de la Cartografía Temática Ambiental del Principado (2002) se distinguen 3 clases que son: formaciones clásticas sin matriz, formaciones clásticas con escasa matriz y formaciones clásticas con abundante matriz. La cartografía geomorfológica procedente de González Trueba y Serrano Cañadas (2011) comprende las siguientes clases: canales de aludes, incisiones fluviotorrenciales y canales.

4.6.1. Elaboración Modelo Digital de Pendientes

La distribución de los procesos de ladera está íntimamente ligada a diversas variables del terreno como son la altitud, la orientación de las laderas o la pendiente, entre otras. Dicha información se obtiene a partir de los Modelos Digitales del Terreno (MDT). Bosque-Sendra (1997) afirma que un Modelo Digital del Terreno representa generalmente la topografía del terreno, es decir, las alturas en cada punto (*pixel*) de un territorio.

En este trabajo, el Modelo Digital del Terreno (MDT) correspondiente al año 2009 y con un paso de malla de 5 m se han descargado del Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Es un modelo LIDAR obtenido por estereocorrelación automática de vuelos fotogramétricos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con resolución de 25 a 50 cm/píxel. A partir de este modelo se obtiene el Modelo Digital de Sombreado (MDH) mediante el comando *Hillshade* en *Surface Analysis (3D analyst)*.

La pendiente es uno de factores más importantes en el desencadenamiento de inestabilidades de ladera y se define como “la variación de la altura entre dos puntos del territorio con relación a la distancia que los separa” (Bosque-Sendra, 1997). El Modelo Digital de Pendientes (MDP) se ha obtenido a partir del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) mediante diversos algoritmos matemáticos. Mediante el software ArcGis 10.0 obtenemos la distribución areal de la variable pendiente que expresaremos en grados. El comando utilizado para su obtención es *Slope*.

El modelo digital de distribución de pendientes obtenido se ha reclasificado estableciendo una serie de rangos de pendiente con intervalos de 10° como en trabajos previos realizados en la Cordillera Cantábrica (Domínguez-Cuesta et al., 2007 y 2010). Mediante la herramienta *Reclassify* se definen cinco rangos de pendiente diferentes: de 0° a 10°, de 10° a 20°, de 20° a 30°, de 30° a 40° y de 40° a 90°. Menéndez-Duarte y Marquínez (2002) sugieren que en las paredes de rocas calcáreas de la montaña cantábrica se muestra un importante pico de actividad a partir de los 40-60° de pendiente.

4.6.2. Elaboración modelos digitales dirección de flujo

Por su localización geográfica, el Parque Picos de Europa actúa como una gran barrera ante los frentes cargados de humedad procedentes del Mar Cantábrico. Esta característica lo convierte en un ambiente fuertemente influenciado por la actividad hidrológica que queda patente, por ejemplo, en las incisiones de gargantas de grandes dimensiones. La Ruta del Cares es un claro ejemplo de ello. Su morfología actual está determinada en gran medida por la dinámica fluviotorrencial y fluviookárstica a la que se ha visto sometida a lo largo de toda su historia.

En este trabajo se han elaborado modelos digitales de dirección de flujo que ayudan a comprender mejor la actividad hidrogeológica que tiene lugar a lo largo de toda la senda y su

influencia en su propia morfología y en los procesos de ladera. Mediante el uso del software ArcGis 10.0 se han obtenido dos modelos diferentes de dirección de flujo a diferentes escalas de detalle. Partiendo de un modelo MDE se utiliza la herramienta *Fill (hidrology)* para rellenar las posibles imperfecciones existentes en el mismo. Mediante el comando *Flow Direction (hidrology)* se obtiene la dirección de flujo y mediante *Flow accumulation (hidrology)* se obtiene un raster de acumulación de flujo de cada celda. Con el comando *Stream definition (hidrology)* se clasifican dichas celdas con acumulación superficial a un umbral dado y como interesa tener una visión, tanto detallada de la dirección de flujo en la ruta como también una global del macizo, al utilizar la herramienta *Calculator Raster (map algebra)* se le dan valores de 5.000 y 50.000. Los cauces se dividen en segmentos no interrumpidos con la herramienta *Streamlink (hidrology)* y se crea un raster del orden de las corrientes usando *Streamorder (hidrology)*. Finalmente, con el comando *Stream feature* se obtiene un *shape* de drenaje. Para tener una visión más clara del final de cada tramo de corriente se utiliza *Feature vertices to point (data management tools)* y se indica que los puntos sean de tipo “END”.

4.7. Elaboración de una zonificación de peligrosidad

Una vez que se analiza mediante ArcGis 10.0 toda la información procesada previamente correspondiente a las capas de información recopilada, las notas de prensa, las fotografías aéreas y el trabajo realizado en campo, se procede a la elaboración de una zonificación de la peligrosidad por procesos de ladera a lo largo de toda la Ruta del Cares.

Se han distinguido cuatro categorías de peligrosidad: baja, media, media-alta y alta.

5. Resultados y discusión

En este apartado se describen en detalle y discuten todos los resultados obtenidos durante la realización del presente trabajo.

5.1. Registro de eventos de inestabilidad y otras incidencias

Se han descargado un total de 297 artículos de prensa de los cuales, una vez analizados, se han utilizado 51, lo que supone el 17%. De estos 51, 19 pertenecen al Diario de León, 19 a El Comercio y 13 a La Nueva España. Todos ellos han sido sintetizados y se ha obtenido la información más relevante:

Tabla VI. Síntesis de incidencias recopiladas a partir de la prensa y del Servicio de Emergencias del 112 Asturias

Fuente	Daños personales	Daños Senda	Sin daños	Alertas riesgo	Incidentes ajenos a la geología
Hemeroteca	8	6	6	6	27
Emergencias 112	2	-	-	1	-

La utilización de las noticias de prensa tiene algunas limitaciones como es el hecho de no ser representativa de la actividad por procesos de ladera en la Ruta del Cares o la carencia de base científica de la información, centrándose sólo en los daños sin darle mucha importancia a los factores geológicos o geomorfológicos. En muchos casos la información resulta bastante escasa en lo que se refiere, por ejemplo, a la ubicación de los procesos y las causas de los mismos, poniendo especial énfasis en los siguientes aspectos: i) que un visitante resulte herido y haya de ser evacuado o atendido por los servicios de emergencia, ii) que el proceso de ladera que tenga lugar sea de tal envergadura que afecte a parte de la Senda o la obstaculice y los responsables del Parque Nacional deban de intervenir para la retirada de material, balizamiento del área afectada, creación de un camino alternativo, contratación de una empresa para la construcción de un nuevo paso transitable, o es su defecto, cierre de la ruta y iii) que se den una serie de factores que aumenten en gran medida el número y la intensidad de los procesos de ladera y supongan un gran peligro para los visitantes, con lo que el Parque se encuentra en la tesitura de cerrar la ruta o generar una alerta por riesgo alto de procesos de ladera.

Todas las incidencias recopiladas han sido analizadas y sintetizadas en tres tablas diferentes que recogen los datos más relevantes obtenidos a partir de ellas y que se muestran a continuación:

Ficha IV: Procesos de ladera que han causado tanto daños materiales como humanos.

Ficha V: Avisos, advertencias y alertas de peligrosidad de procesos de ladera emitidas por el Parque Nacional de Picos de Europa.

Ficha IV: Accidentes que han vulnerado en algún momento la integridad de los turistas que realizaban la Ruta del Cares (factores ajenos a la geología).

Ficha IV: Procesos de ladera que han causado tanto daños materiales como humanos en la Ruta del Cares entre 2001 y 2016.

Fuente	Fecha	Proceso	Causa	Daño senda	Daño visitantes	Zona	Observaciones
El Comercio	11 de junio 2001	Caída rocas	<i>No especificada</i>	--	Pérdida vida mujer	<i>No especificada</i>	
Diario de León	29 febrero 2003	Argayo grandes dimensione	Lluvias, arrastres y orografía	--	--	Los Collados	
La Nueva España	Agosto 2003	Caída de rocas	<i>No especificada</i>	--	Joven recibe golpe en pie. Medida de emergencia: amputación	Canal de Trea	
Diario de León	11 Septiembre 2004	Caída de rocas	<i>No especificada</i>	--	--	<i>No especificada</i>	
Diario de León	4 marzo 2006	No especificada	Lluvias torrenciales	Daños y desperfectos diversa índole	--	<i>No especificada</i>	
Diario de León	13 Agosto 2007	Caída de rocas	Incendio y descargas agua bomberos	-		<i>No especificada</i>	Cierre ruta
El comercio	20 octubre 2007	Caída de rocas	<i>No especificada</i>	--	Mujer evacuada por golpe de roca. Fractura tibia y peroné.	<i>No especificada</i>	
Diario de León	5 diciembre 2008	Desprendimiento material	<i>No especificada</i>	Eliminación parcial sendero	--	La Viña	Instalación cable seguridad. Metros afectados balizados
Diario de León	7 marzo 2009	Hundimiento	Nieves	Hundimiento firme senda	--	La viña	Cable se seguridad. Metros afectados balizados
La Nueva España	26 septiembre 2009	Caída rocas	<i>No especificada</i>	--	Dos heridos leves. Niña con factura ósea tobillo y fémur.	<i>No especificada</i>	

Zonificación y evaluación de la peligrosidad por procesos de ladera en la Ruta del Cares

Diario de León	3 febrero 2010	Deslizamiento de tierras	Caída rocas ocasiona rotura canal. Filtración agua al terreno	Hundimiento 20 metros de senda	--	Los Collados	Cierre temporal ruta. Señalización y balizamiento zona.
La Nueva España	4 noviembre 2010	Caída rocas	Deshielo nieves	Eliminación parte del firme de la senda	--	Culiembro	Señalización. Corte sendero en ese tramo
La Nueva España	22 agosto 2011	Caída rocas	<i>No especificada</i>	--	Hombre evacuado. Golpe roca cabeza	Mitad de la ruta, no especifica	
Diario de León	17 abril 2012	Desplome ruta (zona de túnel)	<i>No especificada</i>	Desplome parte senda. Imposible el tránsito	--	Madama de la Huertona	Balizamiento zona
Diario de León	3 septiembre 2012	Caída rocas	<i>No especificada</i>	--	Muerte hombre golpe en la cabeza por roca y caída	Los Collados	
La Nueva España	25 enero 2013	Caída rocas	Fuertes lluvias y nevadas	--	--	Canal del Saigu	
Servicio Emergencias 112	22 de junio 2013	Caída rocas	<i>No especificada</i>	--	Niño golpe en la cabeza	<i>No especificada (Parte Asturiana)</i>	
Diario de León	25 septiembre 2013	Caída de rocas	Gran incendio	--	--	Entre Puente y túneles (Caín)	Cierre ruta
Diario de León	1 octubre 2013	Caída rocas	Fuertes lluvias	--	--	Toda la ruta	
Servicio Emergencias 112	21 agosto 2014	Caída rocas	<i>No especificada</i>	--	Mujer herida	<i>No especificada (zona asturiana)</i>	

Ficha V: Avisos, advertencias y alertas de peligrosidad de procesos de ladera emitidas por el Parque Nacional de Picos de Europa entre 20015 y 2016.

Fuente	Fecha	Advertencia	Causa
Diario de León	24 marzo 2005	Alto riesgo de aludes y caída de rocas	Abundantes nevadas meses pasados. Aumento temperaturas. Deshielo
El Comercio	23 marzo 2008	Alerta aludes y caída rocas	Acumulación de nieve
El Comercio	22 diciembre 2008	Alerta aludes y caída rocas	Acumulación nieve
El Comercio	24 enero 2009	Alerta caída rocas	Fuertes vientos
El Comercio	2 febrero 2010	Alerta aludes y caída rocas	Bajas temperaturas. Deshielo nieves
El Comercio	12 febrero 2013	Riesgo aludes	Fuertes nevadas
Servicio Emergencias 112	25 septiembre 2013	Riesgo caída rocas	Incendio

Ficha VI: Incidencias ajenas a factores relacionados con la geología que han vulnerado en algún momento la integridad de los visitantes que realizaban la Ruta del Cares entre 2001 y 2016.

Fuente	Fecha	Visitantes accidentados	Causa	Zona
El Comercio	2002	Muerte turista	Pierde equilibrio al hacer foto	No especificada
Diario de León	16 agosto 2005	Evacuados 2 escoceses	Desorientación	No especificada
Diario de León	19 agosto 2005	Muerte ingles	Tropezó	Bajando el canal de Trea
Diario de León	17 Julio 2006	Adolescente evacuado	Torcerse el tobillo	No especificada
El Comercio	4 agosto 2007	Mujer evacuada	Resbalón. Lesión tobillo	No especificada
El Comercio	28 agosto 2007	Mujer evacuada	Sufrir desvanecimiento por calor	Los Collados
El Comercio	23 Julio 2008	Dos turistas evacuados	Desvanecimiento por calor	A 3 km aprox. de Poncebos
El Comercio	4 octubre 2008	Hombre evacuado	Infarto	Los Collados
El Comercio	4 junio 2009	Hombre evacuado	Caída al canal y golpe en la cabeza	Canal de Dubriello
El Comercio	20 agosto 2009	Mujer evacuada	Fractura tibia y peroné	Cerca de Poncebos
La Nueva España	17 mayo 2010	Mujer evacuada	Fractura tibia	No especificada
El Comercio	9 septiembre 2010	Hombre evacuado	Ictus	Cerca de Poncebos
Diario de León	20 junio 2011	Hombre evacuado	Desvanecimiento	No especificada
La Nueva España	27 junio 2011	Dos mujeres evacuadas	Deshidratación severa	Altura Canal de la Raya
La Nueva España	1 agosto 2011	Hombre evacuado	Artritis rodilla. Imposible continuar	No especificada
El Comercio	31 agosto 2001	Mujer evacuada	Desvanecimiento	Los Collados
El Comercio	14 julio 2012	Mujer evacuada	Fractura tobillo	Los collados
La Nueva España	17 Julio 2012	Joven evacuada	Agotamiento por calor	Inmediaciones Peña Galgorio
La Nueva España	8 septiembre 2012	Mujer evacuada	Agotamiento	Los Collados
La Nueva España	1 junio 2013	Joven evacuado	Caída en bici por terraplén.	A dos kilómetros de Poncebos
El Comercio	20 agosto 2013	Hombre evacuado	Desorientación	Canal de Sabugo
El Comercio	9 mayo 2014	Mujer evacuada	Esguince tobillo	No especificada
Diario de León	9 agosto 2014	Hombre evacuado	Caída de unos 40 metros	A unos 200 m de la Cabaña de la Sota
Diario de León	14 agosto 2014	Mujer evacuada	Lesión tobillo más mareos	No especificada
La Nueva España	15 mayo 2015	Mujer evacuada	Tobillo roto	A unos 3 km de Poncebos
La Nueva España	24 agosto 2015	Pareja evacuada	Desorientación	Cerca de Poncebos

Diario de León

30 agosto 2015

Mujer evacuada

Sufrir convulsiones

A pocos km de Caín

5.1.1. Distribución temporal

El estudio de la distribución temporal de las inestabilidades de ladera registradas a lo largo de todo el año se ha realizado mediante la representación del número de sucesos frente al mes de ocurrencia (Figura 13). Se puede observar como las incidencias se distribuyen a lo largo de casi todo el año. Llama la atención la mayor concentración durante los meses de agosto y septiembre lo que sin duda está relacionado con el gran número de visitantes que recibe la Ruta en esas fechas y que hace que la exposición al riesgo sea mayor. En este sentido también es llamativa la ausencia de incidencias en los meses de mayo y julio para los años estudiados (2001-2016).

Uno de los principales factores desencadenantes de este tipo de procesos son las condiciones meteorológicas que suelen ser especialmente adversas en los meses de invierno, tales como nevadas y fuertes precipitaciones, además del deshielo en primavera. Al darse en estas fechas un clima mucho más desapacible el número de visitantes se ve reducido considerablemente, por tanto, aunque la peligrosidad es mucho mayor, el riesgo es bajo debido a la menor exposición. En los meses de verano ocurre lo contrario: las condiciones climáticas no son tan extremas con lo que se ve reducido el número de inestabilidades, sin embargo, la exposición al riesgo es mucho mayor ya que en esta época es cuando se concentra gran parte del turismo que recibe la Ruta del Cares a lo largo del año.

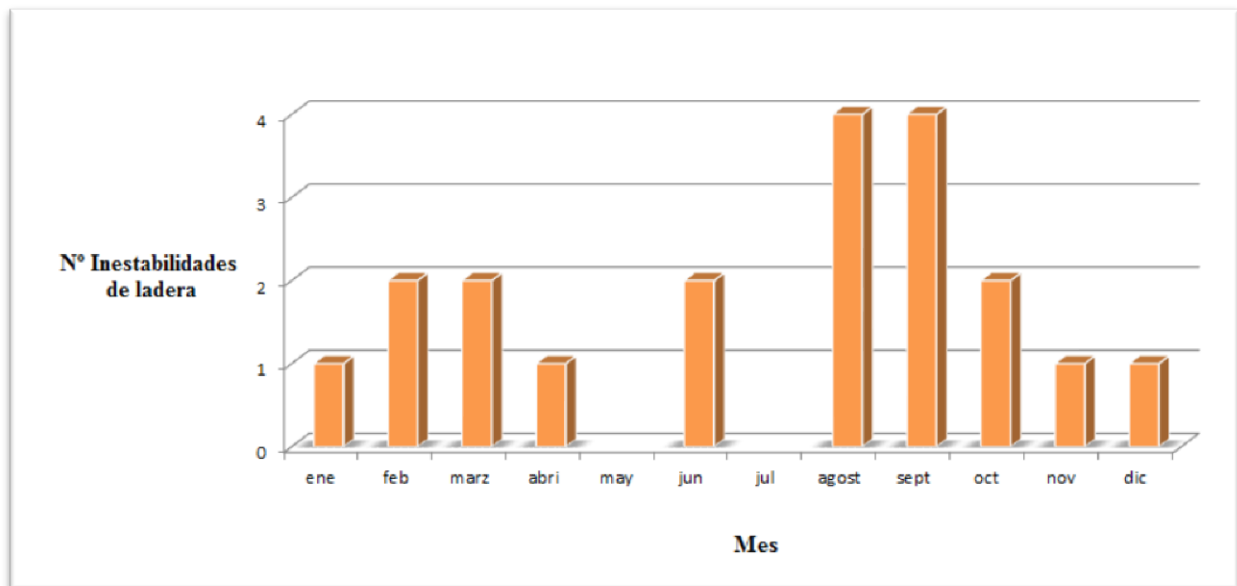


Figura 13. Distribución de las inestabilidades de ladera a lo largo del año para el período 2001-2016.

La distribución temporal de las alertas emitidas por el Parque se concentran en los meses de invierno, principalmente debido a las fuertes nevadas, aunque también son significativas en el mes de septiembre por el elevado número de incendios que se suceden en esa época (Figura 14).

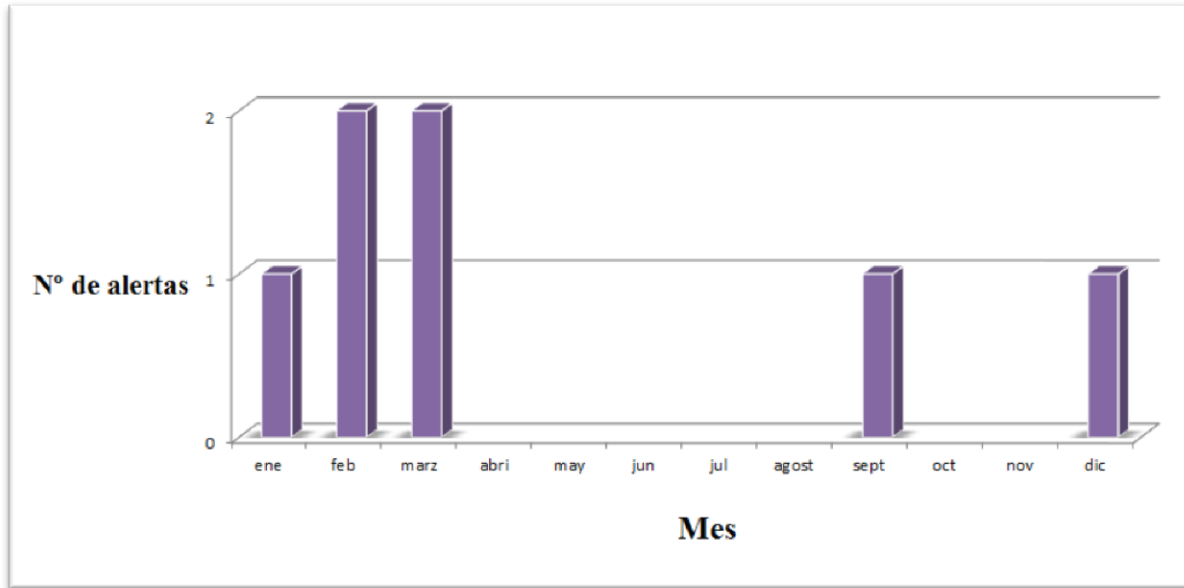


Figura 14. Distribución a lo largo del año de las alertas emitidas por el Parque Nacional de los Picos de Europa en la Ruta del Cares para el período (2001-2016).

Dado que en verano es cuando más turismo acude a la Ruta del Cares, es en estos meses cuando tienen lugar más accidentes por causas ajenas a la geología (Figura 15).

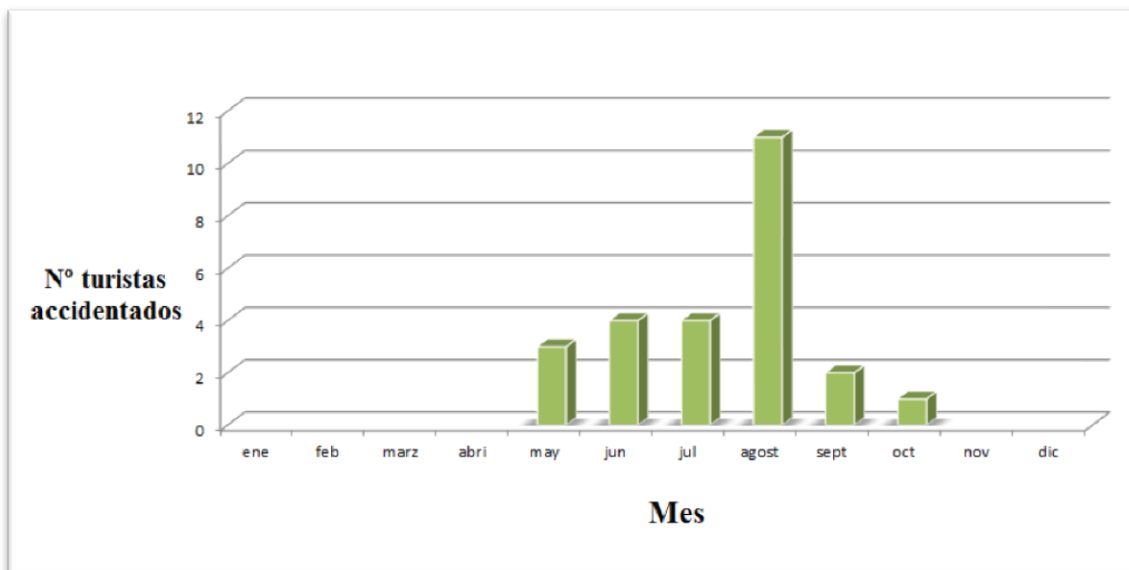


Figura 15. Distribución a lo largo del año de los accidentes (ajenos a factores geológicos) de visitantes para el período 2001-2016.

5.5.3. Distribución espacial

De la totalidad de los 22 eventos de inestabilidad acaecidos en la Ruta del Cares, de los que se tiene constancia a partir de las noticias de prensa y del 112, se han podido situar con bastante fiabilidad 10 de ellos (Tabla VII, Figura 16).

Tabla VII. Eventos de inestabilidad de ladera registrados en la Ruta del Cares entre 2001 y 2016 con datos precisos sobre su situación

Punto	Fecha	Zona	Daño
0	29/2/2003	Los Collados	Argayo
1	5/12/2008	La Viña	Eliminación parcial sendero
2	7/3/2009	La Viña	Hundimiento firme senda
3	26/9/2009	Puente de los Rebecos	Caída rocas
4	3/2/2010	Los Collados	Rotura canal + hundimiento senda
5	4/11/2010	Culiembro	Eliminación parte sendero
6	17/4/2012	Madama de la Huertona	Desplome tramo
7	3/9/2012	Los Collados	Caída rocas
8	25/1/2013	Canal del Saigu	Caída rocas
9	25/9/2013	Entre puente y túneles	Caída rocas

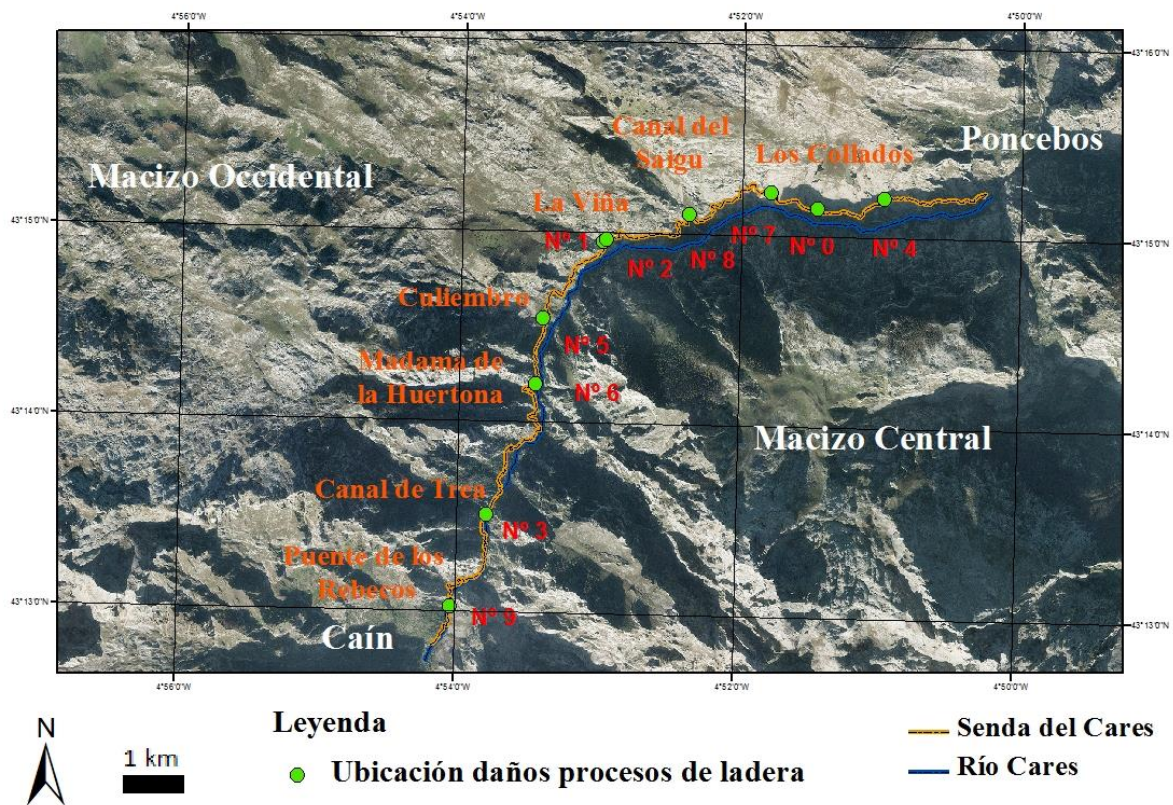


Figura 16. Distribución espacial de eventos de inestabilidad de ladera registrados en la Ruta del Cares entre 2001 y 2016 para los que se dispone de datos precisos sobre su situación.

Cabe destacar tres eventos entre los mencionados anteriormente debido a su gran envergadura. Dos de los casos, fueron de tal magnitud que el Parque se vio obligado al cierre de la senda y en todos ellos fue imprescindible la intervención con maquinaria para la reparación de la misma, ya que el paso estaba intransitable. Uno de los más importantes tuvo lugar en febrero de 2010, al inicio de la Ruta por Poncebos, cuando se produjo un argayo de gran magnitud que originó el derrumbe de varias decenas de metros del firme de la senda (Figura 17). La incidencia fue ocasionada por un desprendimiento de rocas que rompió el canal de agua que discurre de Caín a Poncebos provocando que durante toda la noche se filtrara una gran cantidad de agua que, posteriormente, provocaría la desestabilización de una gran masa de terreno. En noviembre de ese mismo año, las fuertes lluvias ocasionarían un argayo que también eliminaría parte del sendero en el área de Culiembro (Figura 18).

Diario de León.es

Cerrada la Ruta del Cares por el mayor desprendimiento de los últimos 15 años

La caída de enormes piedras rompió el canal que discurre paralelo a la senda, lo que provocó una fuga de agua y el hundimiento de más de 20 metros de tierra

maría carnero | redacción
maría carnero | redacción
05/02/2010

La Ruta de Cares permanecerá cerrada al público, al menos durante los próximos cinco días, como consecuencia de un grave desprendimiento producido en la madrugada del martes en la zona de Los Collados, en la localidad asturiana de Cabrales. El incidente, considerado por el propio Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino como «el de mayor tamaño y complejidad de solucionar de los registrados en la senda en los últimos quince años», se produjo por un corrimiento de piedras de gran tamaño que provocó un enorme boquete de más de veinte metros de profundidad, que ha partido la ruta en dos, y que además ha causado la rotura del canal que abastece a la Central Eléctrica de la empresa E-On en Poncebos. El hecho de que el incidente se produjera a última hora del día hizo que el agua del canal estuviera vertiendo toda la noche, hasta que los responsables del Parque Nacional dieron aviso a la mañana siguiente, lo que favoreció notablemente el corrimiento de tierras, ocasionado inicialmente por el derrumbe.

Operarios del Parque procedieron en el día de ayer a realizar las primeras medidas preventivas, como la señalización y balizamiento de la zona del hundimiento, a ambos lados del trayecto y en varios idiomas, para evitar el paso de excursionistas. También se llevaron a cabo los primeros trabajos de limpieza y reparación del canal. A partir de ahora deberán ser los técnicos del parque los que sopesen la posibilidad de instalar un paso provisional que reúna la suficiente seguridad, dado que el hundimiento se ha producido en una zona de peñascos.



El enorme boquete de veinte metros de profundidad partió la ruta en dos.
Alba Sánchez /La Nueva España

Figura 17. Noticia referida a un argayo de grandes dimensiones en Los Collados. Fuente: Diario de León, 3 febrero 2010.

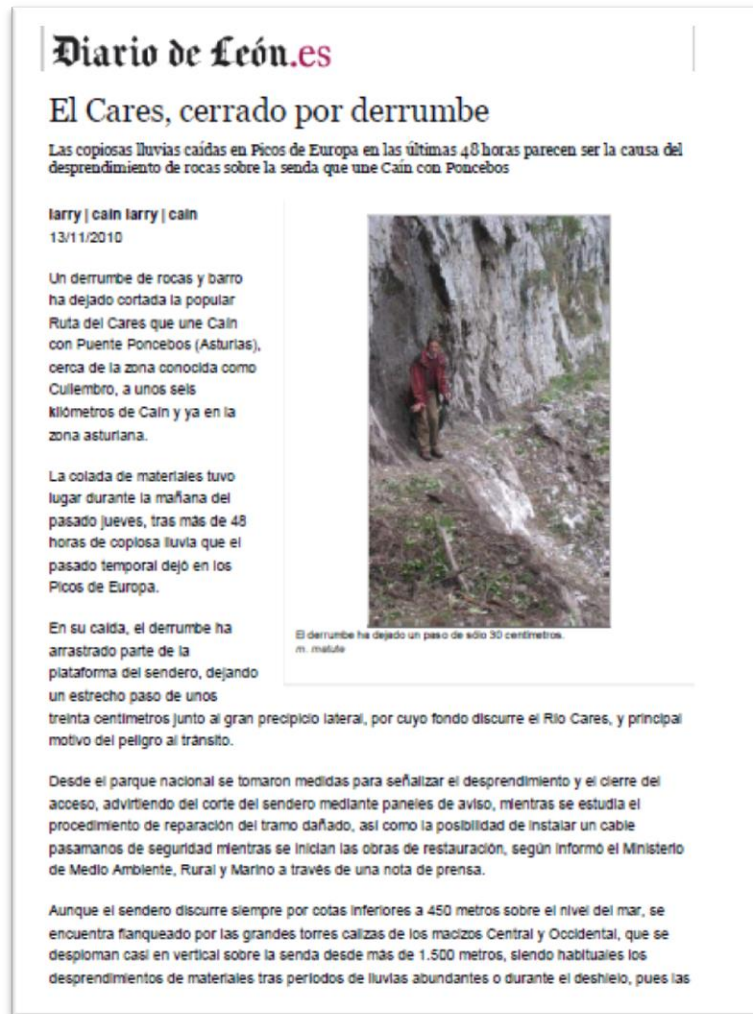


Figura 18.. Argayo en el área de Culiembro. Fuente: Diario de León, 4 de noviembre de 2010.

El caso del bloque desprendido conocido como la Madama de la Huertona (Figura 19), que interrumpió el recorrido en 15 metros, requirió de una gran inversión económica junto con la aplicación de técnicas especiales de ingeniería por parte de los trabajadores de la empresa TRAGSA que, incluso, tuvieron que recurrir a técnicas de escalada para poder llevar a cabo la complicada labor. Además, debido a su situación y a su complicado acceso los materiales tuvieron que ser transportados en helicóptero, a caballo e incluso por el canal de agua.



Figura 19. Gran desprendimiento bloque Madama de la Huertona. Fuente: Diario de León, 17 abril de 2012.

5.2. Actividad por caída de rocas

La información recopilada referente a formaciones superficiales se ha reclasificado para agruparlas finalmente en las 3 clases que se muestran en la Tabla VIII. Su representación espacial a lo largo de la vertiente asturiana de la Ruta del Cares se observa en la Figura 20.

Tabla VIII. Clases de formaciones superficiales consideradas en este trabajo en la parte asturiana de la Ruta del Cares.

Código	Tipo Recubrimiento	Superficie (km ²)
1	Formaciones clásticas sin matriz	1.08
2	Formaciones clásticas escasa matriz	1.6
3	Formaciones clásticas abundante matriz	0.3

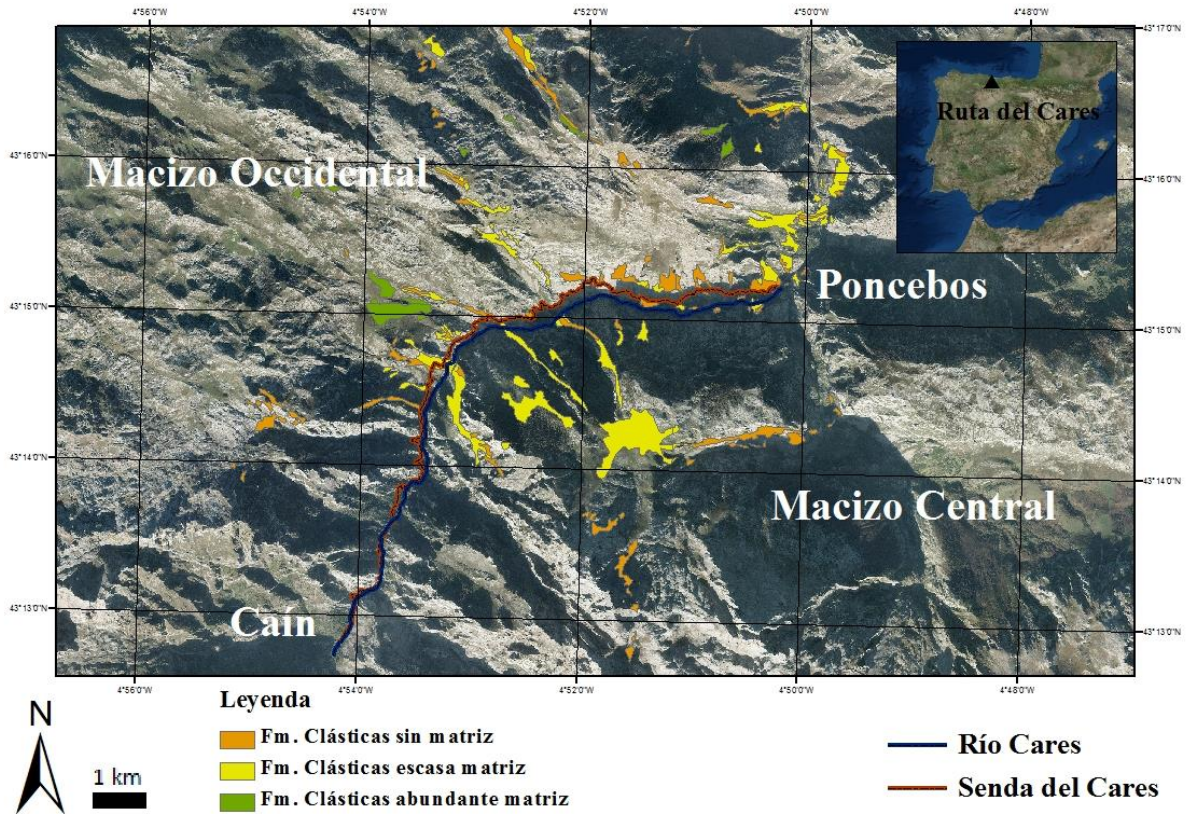


Figura 20. Distribución de las formaciones superficiales presentes en la parte asturiana de la Ruta del Cares. Fuente: Cartografía Temática Ambiental del Principado de Asturias 2002.

Los datos de actividad geomorfológica de la parte leonesa de la Ruta han sido sintetizados a partir de las cartografías geomorfológicas elaboradas por González Trueba (2007) para el Macizo Central y por González Trueba y Serrano Cañadas (2011) para el Macizo Occidental. Las categorías consideradas son las que se recogen en la Tabla IX:

Tabla IX. Entidades geomorfológicas en el entorno de la Senda del Cares consideradas en este trabajo (González Trueba (2007) y González Trueba y Serrano Cañadas (2011))

Código	Entidad geomorfológica	Longitud (km)
1	Canales de aludes	17
2	Incisiones fluviotorrenciales	4
3	Canales	11

En el mapa de la Figura 21 se muestra la distribución espacial de estas entidades geomorfológicas.

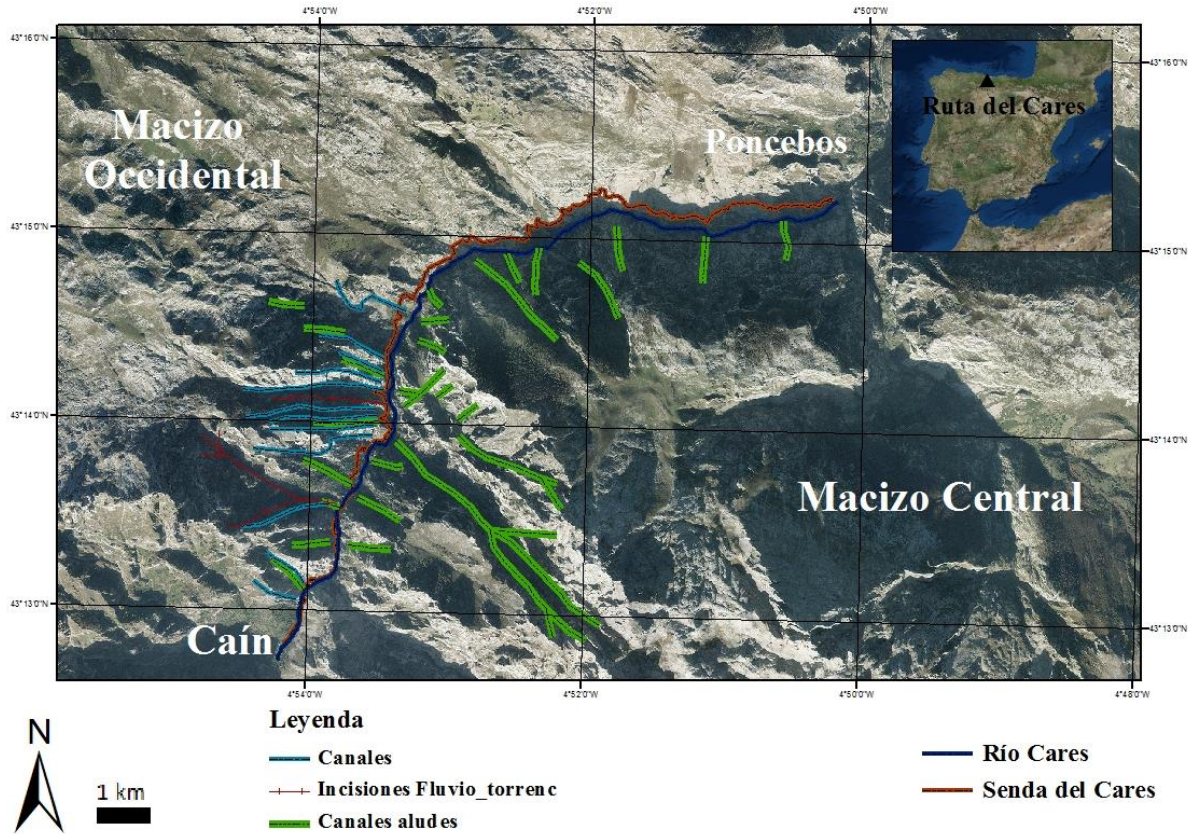


Figura 21. Distribución de diferentes entidades geomorfológicas a lo largo de la Ruta del Cares. Modificado a partir de González Trueba (2007) y González Trueba y Serrano Cañadas (2011).

El proceso de ladera de mayor riesgo para los viandantes y para la propia Ruta del Cares es la caída de rocas. Este proceso origina depósitos de canchal que, en ocasiones, llegan a alcanzar grandes dimensiones como ocurre en el entorno del área conocida como Los Collados, en las inmediaciones de Poncebos. En este trabajo se ha llevado a cabo la cartografía de los depósitos de canchal a partir de fotointerpretación y trabajos de campo. El resultado de la digitalización de los depósitos de canchal a lo largo de toda la Senda se muestra en la Figura 22. Ocupan una superficie de 0.7 km².

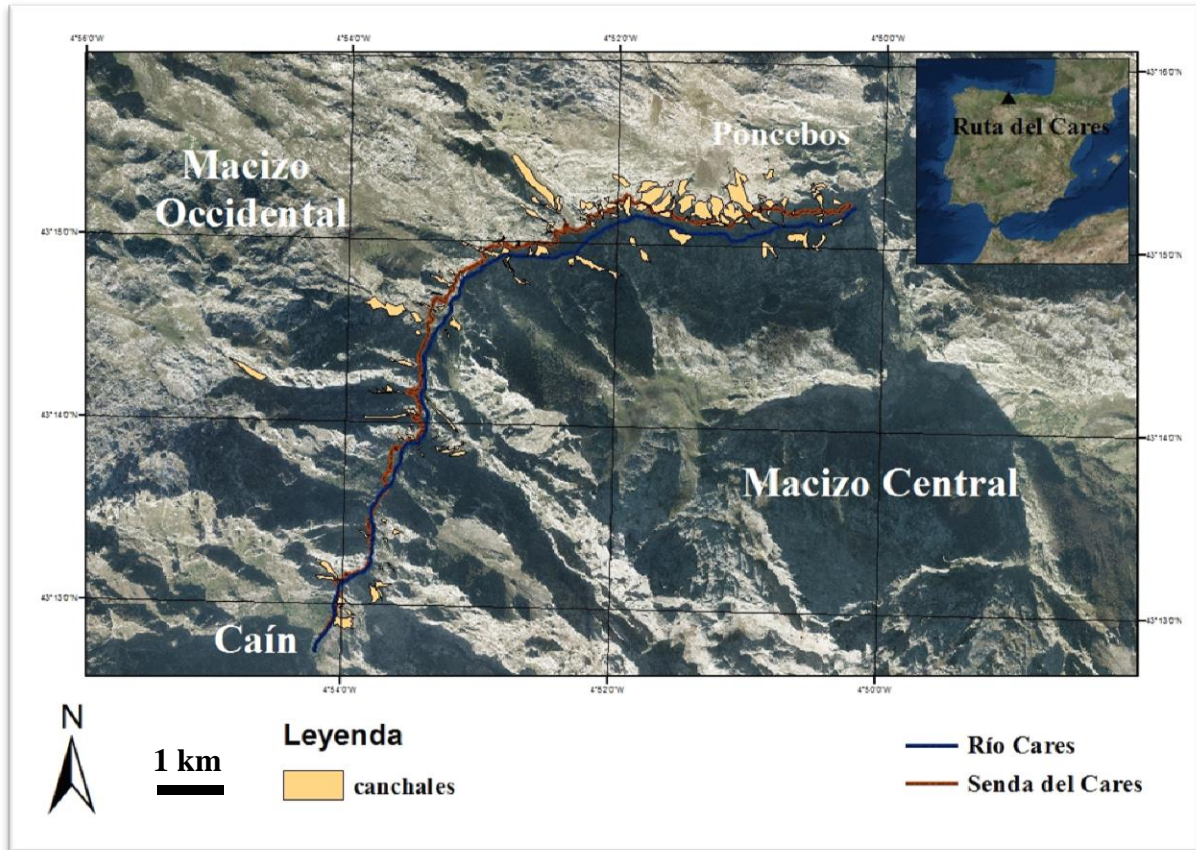


Figura 22. Distribución de los depósitos de canchal en el entorno de la Senda del Cares.

5.3. Incidencia de parámetros climáticos

Los datos climáticos proporcionados por la AEMET (Botey et al., 2013; ERHIN, 2011-2014) han sido representados para analizar su distribución anual. Como se puede observar en la Figura 23, las precipitaciones de la parte asturiana recogidas en las estaciones de Amieva (Camporriondi), Amieva (Restañó) y Benia, que resulta ser la más cercana a la Ruta del Cares, son más abundantes en los meses entre noviembre y mayo, aunque se distribuyen ampliamente a lo largo de todo el año.

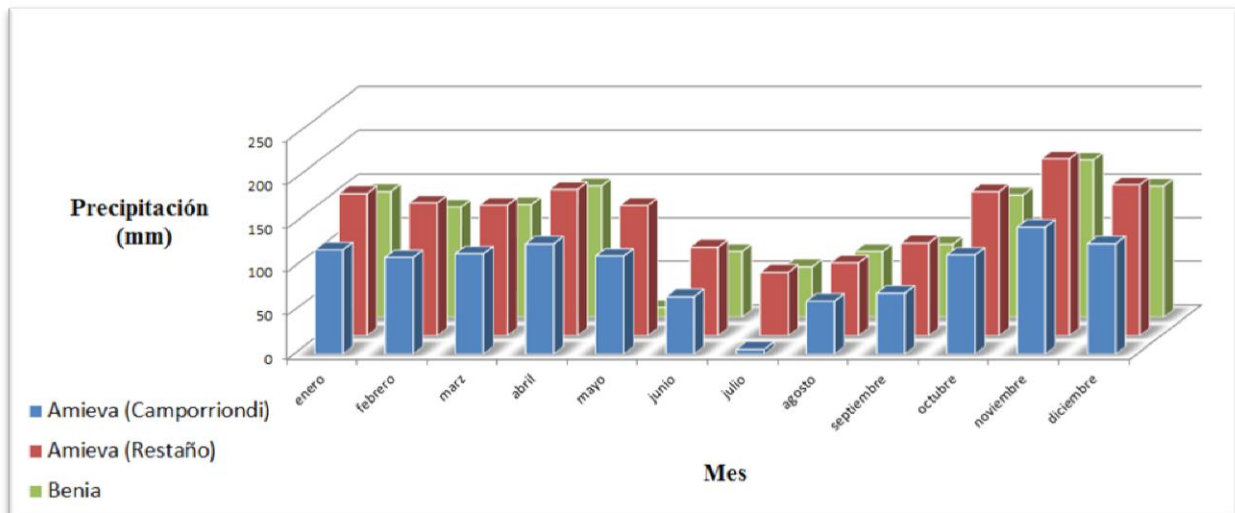


Figura 23. Distribución temporal de las precipitaciones medias recogidas en las estaciones más próximas a la Ruta del Cares en la parte asturiana (1981-210).

Una distribución similar se da en la vertiente leonesa. Las estaciones meteorológicas de Llánaves de la Reina, Embalse de Riaño y Boca de Huérgano que es la más cercana a la ruta, muestran que las mayores precipitaciones se concentran en los meses entre octubre y mayo (Figura 24). Con una disminución muy marcada en los meses de verano.

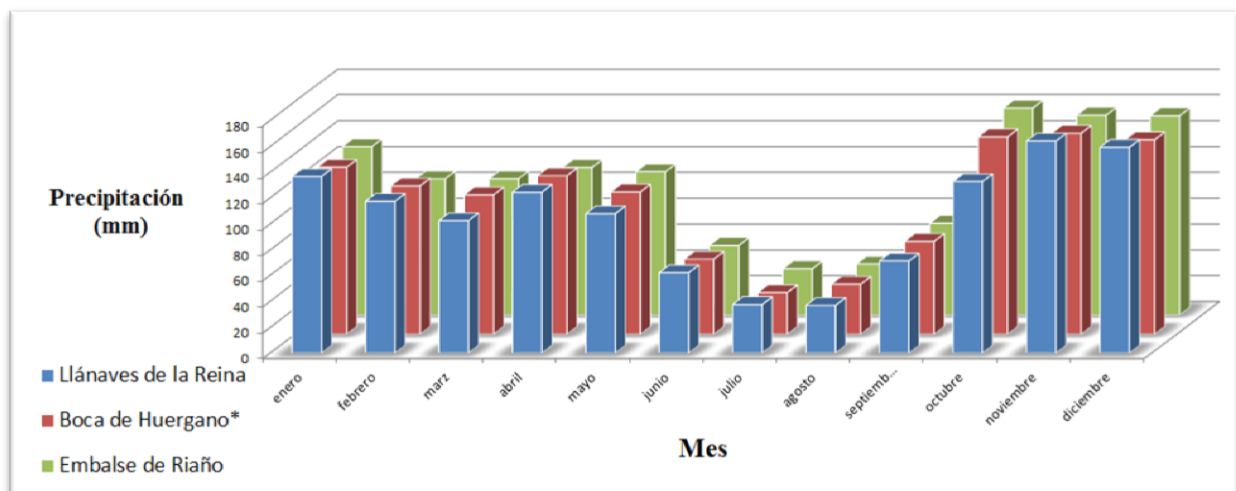


Figura 24. Distribución temporal de las precipitaciones medias recogidas en las estaciones más próximas a la Ruta del Cares en la vertiente leonesa (1981-210)

Las primeras nevadas en el entorno de la Ruta del Cares se dan a finales de septiembre y principios de octubre pero éstas no tienen efecto por debajo de los 1700-1900 metros. Las más intensas tienen lugar en los meses de noviembre y diciembre pudiendo llegar a formar manto nival por debajo de los 1000 metros. Es en los meses febrero y marzo, principalmente,

cuando las condiciones térmicas son mucho más rigurosas y las nevadas más frecuentes e intensas por lo que el manto nival puede llegar a situarse por debajo de los 600 metros. Siendo esta última época cuando las nieves pueden alcanzar los fondos de las gargantas fluviales como la de la Ruta del Cares.

Los datos de los recursos hídricos acumulados en forma de nieve obtenidos a partir del programa ERHIN (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) entre los años 2011 y 2014 muestran como las cotas más bajas se alcanzan especialmente en los meses de febrero y marzo (Figura 25).

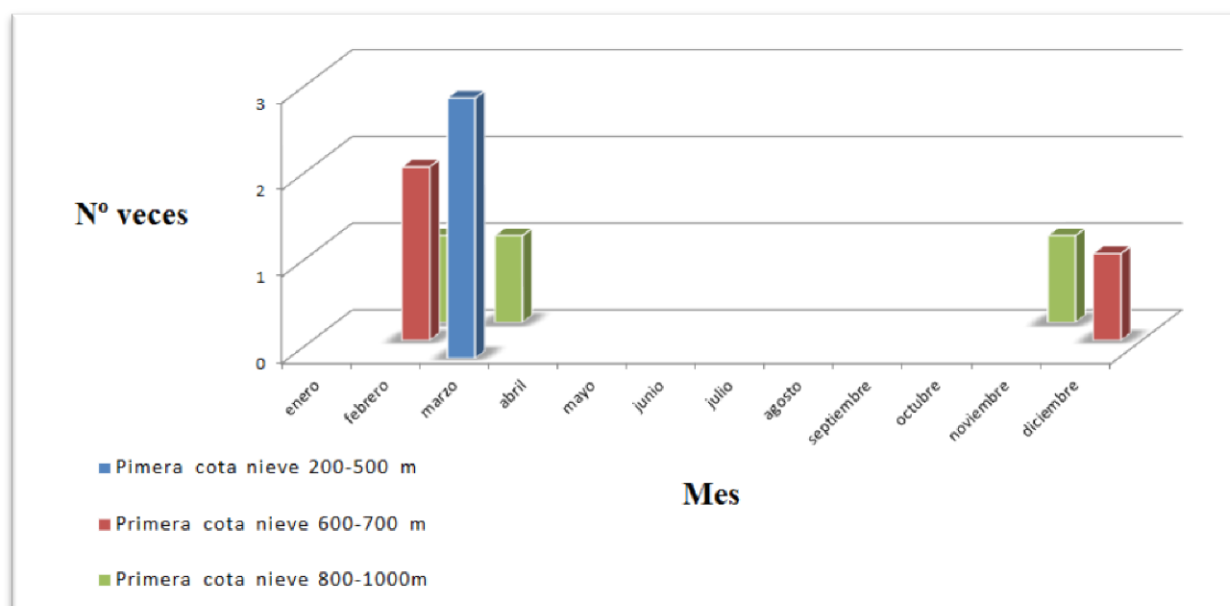


Figura 25. Cotas más bajas a las que se ha producido innivación y número de veces en que dichas áreas de la Cuenca del Cares han recibido nevadas por mes para el período 2011-2014. Fuente: ERHIN.

Un fenómeno frecuente en los medios de alta montaña hace referencia a los aludes de nieve que pueden desplazar grandes masas desde zonas culminantes hasta fondos de valle. La Ruta del Cares puede ver aumentada su peligrosidad por este tipo de fenómenos que alcanzan frecuentemente la parte baja de las laderas con fenómenos de alta intensidad, a su vez, pueden remodelar la base de los canales con el consiguiente alto riesgo para vidas humanas e infraestructuras. Un efecto apreciable es la erosión directa del sustrato por la acción térmica y química de las aguas de fusión junto con el transporte y deslizamiento de materiales que se va encontrando a su paso provocando, también, una alteración mecánica de las formaciones superficiales infrayacentes.

En el caso de la Ruta del Cares, estos fenómenos podrían incrementar la caída de rocas o de argayos. Además, habría de tenerse en cuenta no sólo la actividad de los propios aludes sino la fusión de los mismos y del manto nival en general, que puede desarrollar procesos geomorfológicos indirectos. Los procesos de fusión se desencadenan por ascensos de la

temperatura, fenómenos esporádicos de viento, efecto föehn en primavera y precipitaciones de carácter tormentoso. Es a finales de marzo cuando la fusión en áreas de baja cota es mayor, ocasionando la fragmentación del manto nival. En los meses de julio y agosto se funde la mayor parte de la cubierta nival y en abril y sobre todo mayo y junio se produce un aumento de las temperaturas con la consiguiente fusión generalizada (González- Trueba y Serrano, 2010). La cubierta nival dura unos 6 meses aproximadamente en torno a los 1500 metros y unos 8-9 meses por encima de los 2000 metros en Los Picos de Europa (González-Trueba y Serrano, 2010).

Es indispensable una percepción social del riesgo por aludes y que se suministre a los usuarios de alta montaña una buena información que les permita evaluar la situación de peligro y así tomar la decisión personal más correcta. Por ello han de identificarse las zonas susceptibles de ser afectadas por aludes de grandes dimensiones y se racionalice su uso (Furdada Bellavista, 2006). En la Figura 21 se pueden observar los canales de aludes cartografiados por González Trueba (2007) y González Trueba y Serrano Cañadas (2001).

Los datos previos permiten realizar una predicción relativa tanto temporal, que identifica los lapsos de tiempo en los que pueden producirse los aludes, como espacial, que identifica dónde se producirán y cuál será su magnitud, alcance, frecuencia y energía.

Autores como Vada (2011) y Vada et al. (2012) han realizado cartografías del riesgo de aludes en diversas áreas de los Picos de Europa lo que pone en evidencia la importancia de este tipo de fenómeno en el Parque Nacional. Evalúan cuantitativamente, mediante un índice, el riesgo de aludes a que están sometidos quienes transitan la zona y detectan aquellos tramos y sectores del camino con mayor riesgo.

5.4. Incidencia de incendios

Entre los años 1991 y 2013 en el Noroeste de la Península los meses con mayor número de incendios son marzo, agosto y septiembre (Figura 26).

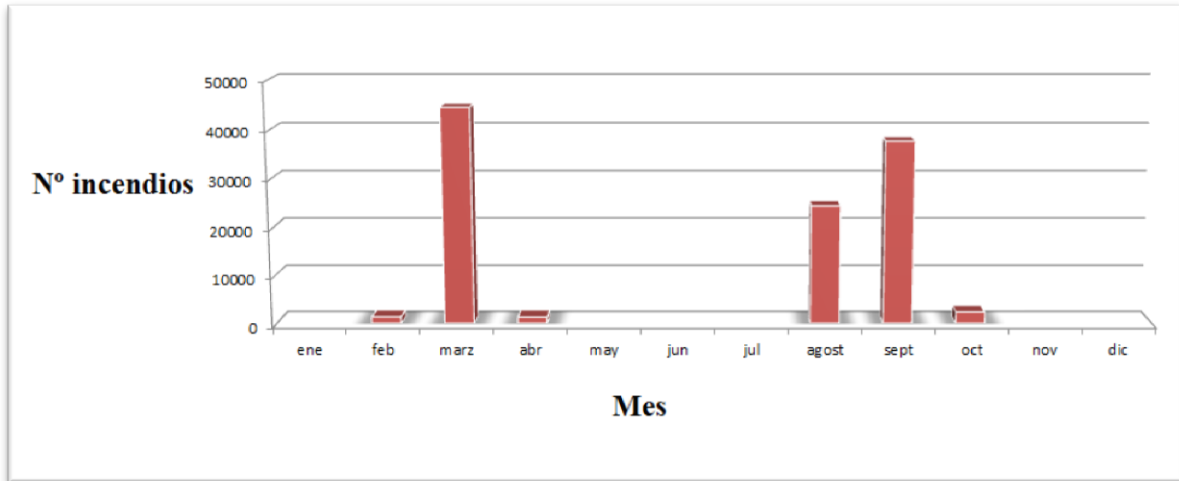


Figura 26. Meses con mayor número de incendios en el Noroeste de la Península Ibérica. 1991-2013

El 25 de septiembre de 2013 el Servicio de Emergencia del 112 de Asturias emitió una alerta por caída de rocas en la Ruta del Cares como consecuencia de un fuerte incendio que obligó al cierre de la senda (Figura 27). El 13 de agosto de 2007 tuvieron lugar desprendimientos, también a consecuencia de un incendio, que obligaron al Parque Nacional de Picos de Europa a cerrar la senda (Figura 28).



Figura 27. Noticia de prensa publicada en el Diario de León. 25 de Sept de 2013

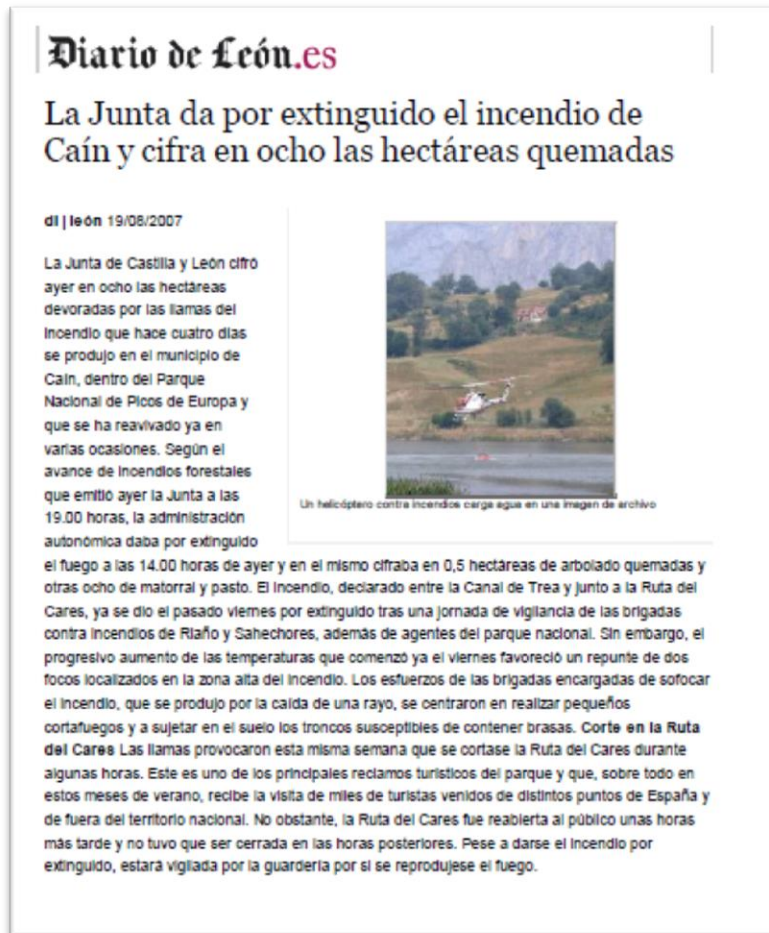


Figura 28. Noticia de prensa publicada en el Diario de León. 19 de agosto de 2007

Ambos sucesos se produjeron en los meses de agosto y septiembre, que como ya se ha señalado pertenecen a las épocas más propensas a sufrir incendios. Estos eventos pueden desencadenar una caída de rocas, además de otros procesos de ladera, que suponen un riesgo para los viandantes que la transiten. En este caso, se consideró un aumento potencial de la peligrosidad, que aconsejó cerrar la Senda, por lo que los incendios son un factor secundario aunque importante a tener en cuenta en el presente estudio.

5.5. Visitantes en la Ruta del Cares

La Ruta del Cares es uno de los principales atractivos turísticos del Parque Nacional de Los Picos de Europa. De los casi dos millones de visitantes que recibe al año, en torno a unos 400.000 lo hacen para realizar el recorrido de la Senda entre Caín y Poncebos. Las mayores concentraciones de excursionistas se dan en los meses de verano, concretamente en julio y agosto (Figura 29).

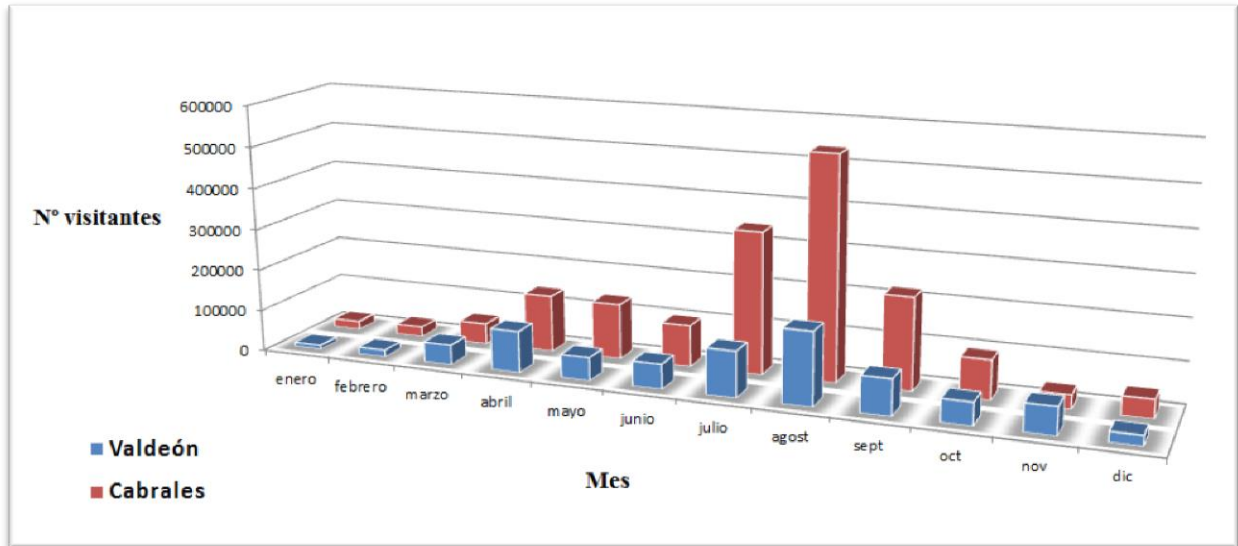


Figura 29. Visitantes al Parque Nacional de Picos de Europa por Valdeón y Cabrales. Años 2009-2014 (Memorias Parque Nacional de Los Picos de Europa).

Lógicamente, una mayor afluencia de gente, supone una mayor exposición y, por tanto, una mayor probabilidad de que la peligrosidad de que el fenómeno natural de caída de rocas que potencialmente pueda ocurrir, afecte a alguna persona. Este hecho queda puesto de manifiesto cuando se comparan estos datos con los de las fechas en las que se producen las incidencias en la Ruta del Cares.

5.5. Elaboración de MDT mediante SIG

5.5.1. Modelo Digital de Pendientes

La distribución de los procesos de ladera está íntimamente ligada a diversas variables del terreno entre las que destaca la pendiente de las laderas.

En relación a la pendiente, se han definido cinco rangos diferentes: de 0° a 10°, de 10° a 20°, de 20° a 30°, de 30° a 40° y de 40° a 90°, obteniendo un mapa (Figura 30) que muestra como prácticamente la totalidad del entorno de la Ruta del Cares está caracterizado por pendientes superiores a los 40°. De hecho, uno de sus grandes atractivos turísticos es que discurre en gran medida excavada en el propio macizo, además de la gran caída vertical hasta el fondo del valle. Las pendientes más bajas suelen coincidir en muchos casos con las zonas en las que se sitúan los canales. La zona de Los Collados, constituida por la mayor concentración de canchales de toda la senda, tiene unas pendientes de entre 20 y 30 grados que la hacen especialmente propensa a la acumulación de materiales.

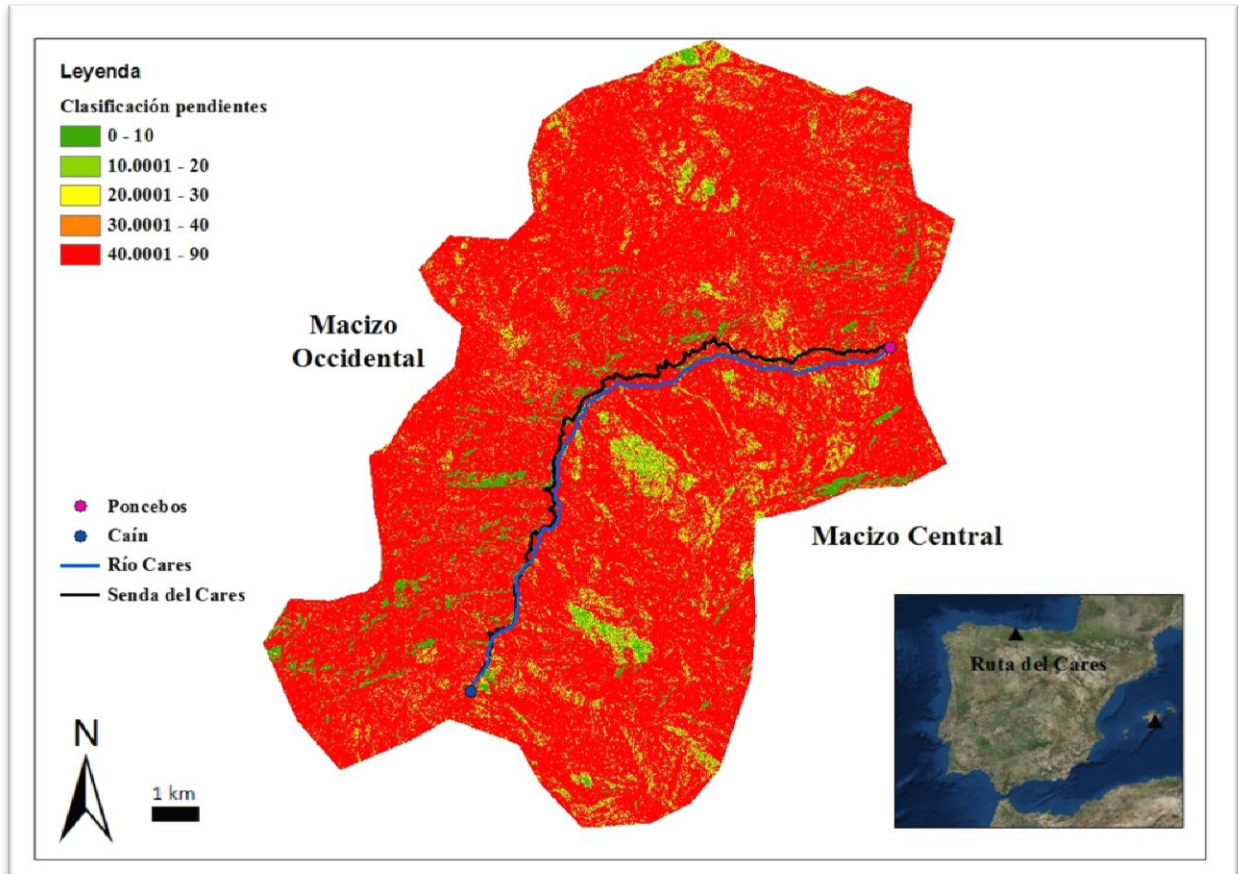


Figura 30. Distribución de pendientes a lo largo de la Ruta del Cares.

5.5.2. Modelos de dirección de flujo

La caída de rocas es un fenómeno generalizado a lo largo de la Ruta del Cares, si bien tiene mayor presencia en las áreas más escarpadas. Los fragmentos desprendidos a menudo se canalizan por los fondos de valle y por las vaguadas. Por ello, y de cara a zonificar la peligrosidad por caída de rocas, es importante localizar estas áreas de circulación preferente de los clastos desprendidos. Para ello, se han creado modelos digitales de dirección de flujo a partir del MDE para diferentes umbrales. El comando *Stream definition* permite clasificar las celdas según la acumulación de superficie que drenan en función de un umbral determinado. Cuanto más bajo sea el valor, más densidad de red fluvial habrá. Si el valor es alto, la densidad es menor y los cauces que se dibujan son más largos. En la Figura 31 se muestra el Modelo digital de Dirección de Flujo con un umbral alto mostrando los afluentes mayores de la cuenca. En la Figura 32 la red fluvial es más detallada y densa y los afluentes que se muestran son más pequeños.

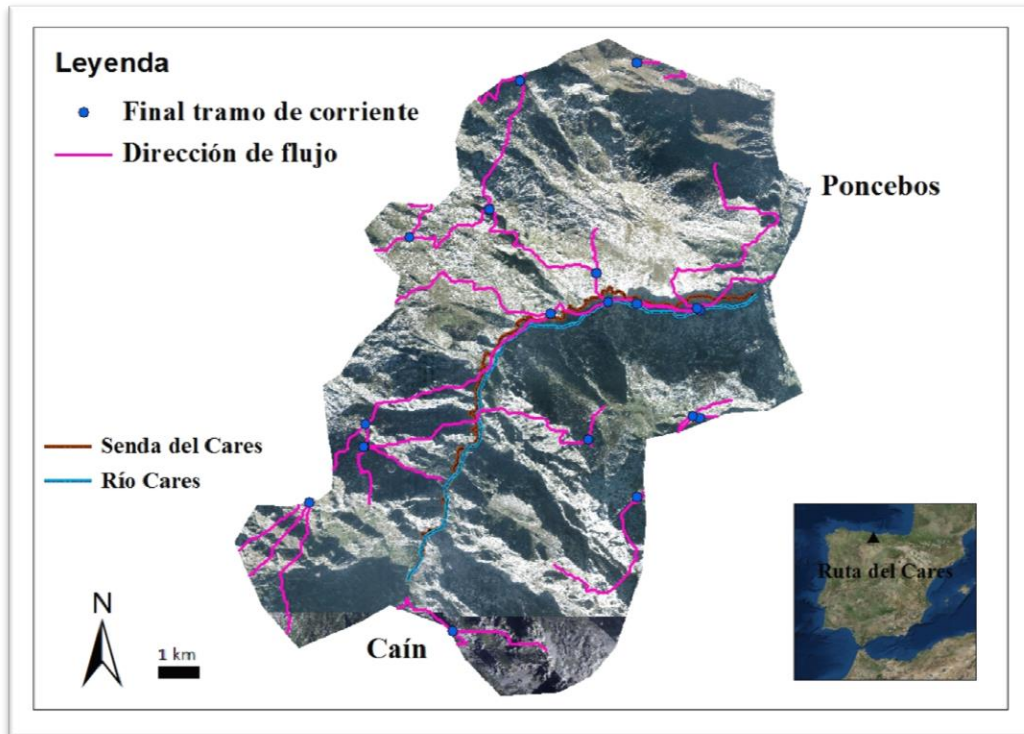


Figura 31. Modelo digital de la dirección de flujo en el tramo de cuenca vertiente a la Ruta del Cares.

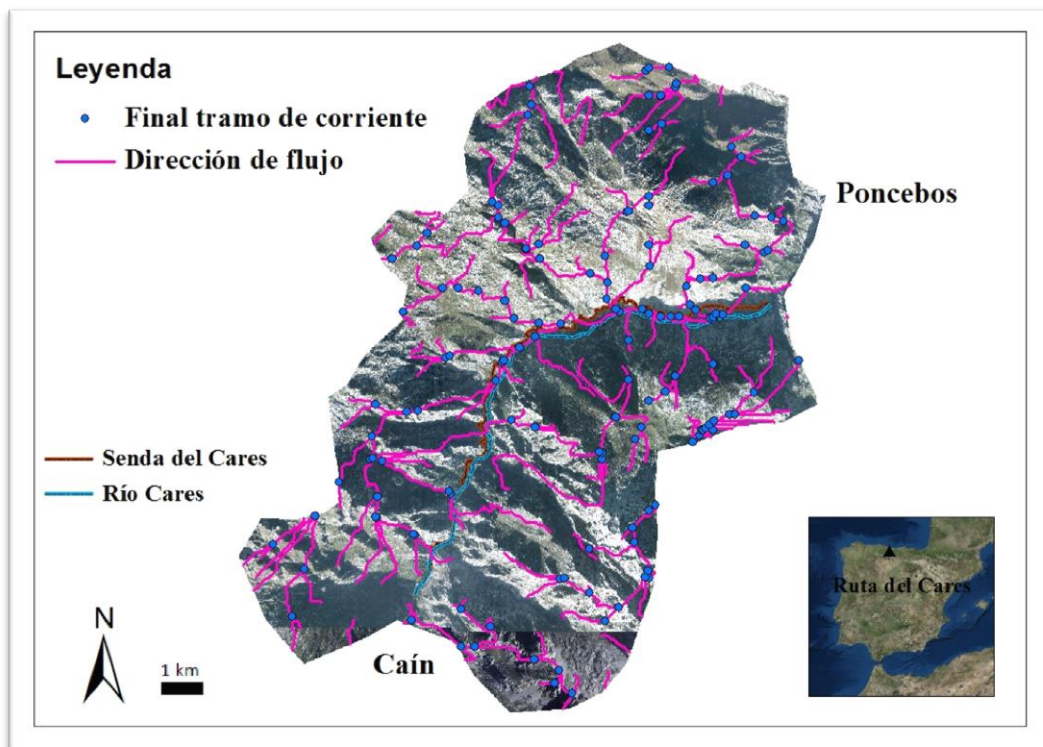


Figura 32. Modelo detallado de la dirección de flujo en el tramo de cuenca vertiente a la Ruta del Cares 5.5.2. Modelo Digital de Pendientes

5.6. Zonificación de la peligrosidad por caída de rocas

El Parque Nacional de Picos de Europa alerta a la entrada de la Ruta del Cares mediante amplios carteles del riesgo por desprendimientos y caída de rocas a lo largo de todo el recorrido (Figura 33). La investigación llevada a cabo en este trabajo ha permitido determinar que existen diferentes grados de peligrosidad por procesos de ladera a lo largo de la Ruta en función de las características de las diversas áreas que atraviesa la misma. El patrón de peligrosidad de la Ruta del Cares es bastante diferente según dónde nos encontremos.



Figura 33. Panel de alerta por riesgo de desprendimientos y caída de rocas ubicado al principio de la Senda del Cares desde Poncebos.

La morfología de las laderas vertientes a la Senda del Cares determina el grado de peligrosidad de ésta ante el proceso de caída de rocas. Así, las áreas donde la Senda transcurre por una ladera cóncava (Figura 34), es decir en áreas próximas a las vaguadas, el peligro por impacto de rocas es mayor al haber una mayor tendencia a canalizarse los bloques desprendidos hacia el centro de la vaguada. En las zonas convexas, próximas a las lomas o divisorias (Figura 35), la probabilidad de impacto se reduce ya que, como se ha señalado anteriormente, las rocas tienden a desplazarse hacia las áreas de vaguada.

Además, cuando el camino discurre cóncavo, este peligro se ve aumentado si en el área superior se encuentran pequeñas zonas de pradera (Figura 36) que son áreas frecuentadas por las cabras (Figura 37), muy habituales en la Ruta, en general, y, en el área de canchales de

Los Collados, en particular, que pueden provocar la movilización de material. Ambos ejemplos se ven de manera más clara en la Figura 38



Figura 34. Área cóncava con mayor peligrosidad por impacto de roca.



Figura 35. Área convexa con menor peligrosidad por impacto de roca



Figura 36. Área con pradera más material suelto expuesto que coincide con una zona cóncava de la senda.



Figura 37. Presencia de cabras en un área de canchales

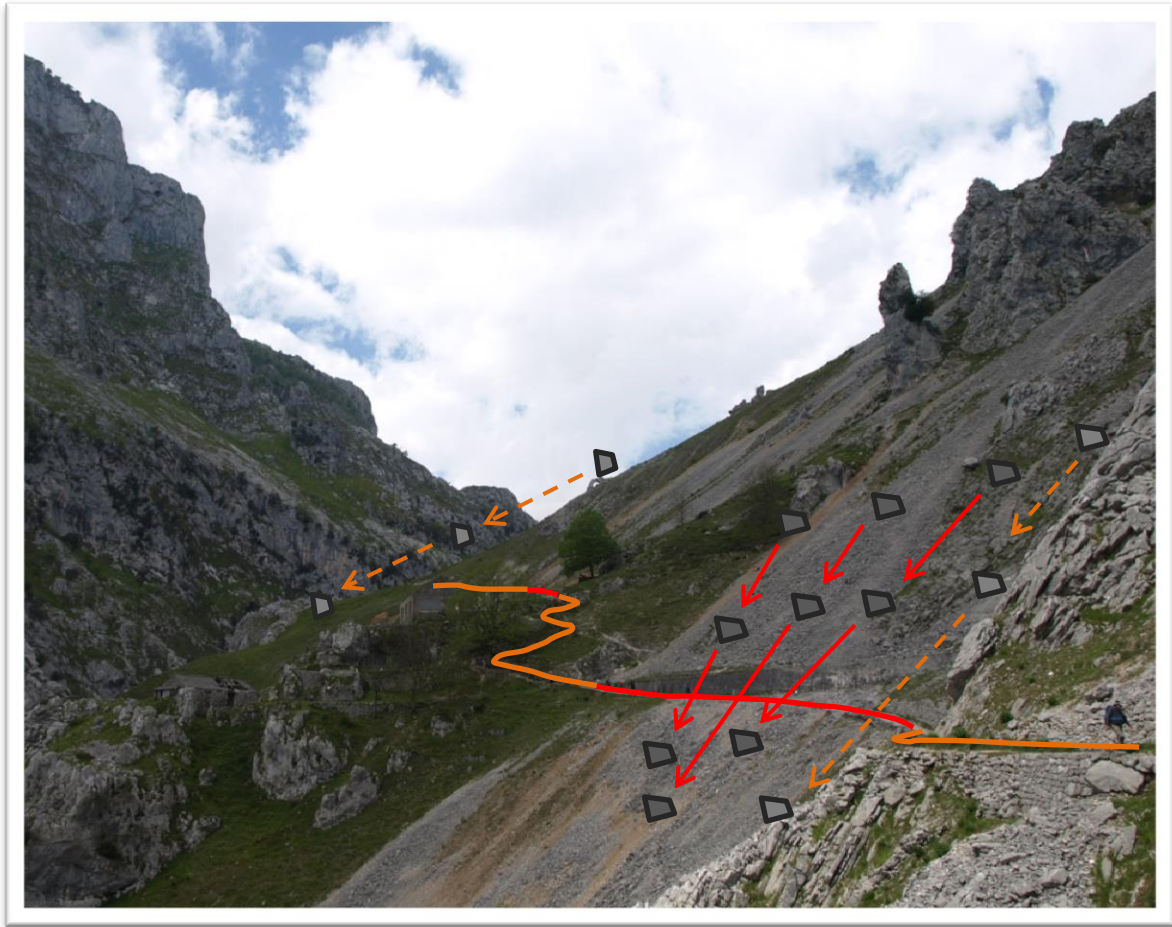


Figura 38. Trayectoria recorrida por las rocas en su caída. Mayor peligrosidad por impacto en las zonas cóncavas (flechas rojas); menor peligrosidad por impacto en las zonas convexas (flechas naranjas).

A medida que va avanzando en la Ruta desde Poncebos hacia la parte leonesa, el mayor encajamiento del Río Cares condiciona el aspecto de la misma; gran parte discurre excavada en el propio macizo, en ocasiones incluso atravesando túneles, y quedando, por tanto, protegida de la caída de rocas provenientes de áreas de cotas superiores. Esta morfología, en comparación con el resto, es la más segura de todas. En las Figura 39 y Figura 40 observamos este tipo de áreas que se consideran zonas protegidas debido a que la Senda quedaría en una “zona de sombra” respecto a la trayectoria que recorrería una caída de rocas.

No obstante, resulta llamativo como es únicamente en estas áreas donde existen señales que alertan del peligro por caída de rocas, siendo los tramos con este tipo de morfología algunos de los más seguros de toda la senda (Figura 41). Sin embargo, en el área conocida como Los Collados, que se encuentra prácticamente cubierta en su totalidad por canchales, con la consiguiente peligrosidad que este tipo de formaciones superficiales conlleva, no existe ningún tipo de señalización. Aquí, además, queda patente la constante

actividad de caída de rocas ya que encontramos gran cantidad de material movilizado metros más abajo de la senda (Figura 42).



Figura 39. Tramo de senda excavado en el macizo y protegido de la caída de rocas.

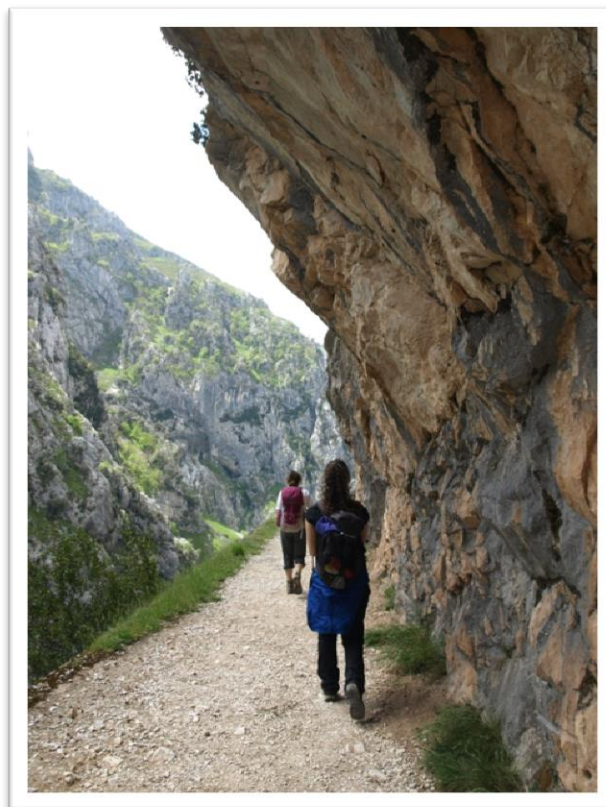


Figura 40. Detalle de tramo de la senda excavado en el macizo y protegido de la caída de rocas.



Figura 41. Señalización por caída de rocas en un tramo de la Ruta del Cares que corresponde con una de las áreas consideradas como de peligrosidad no elevada.



Figura 42. Área de Los Collados, parte asturiana. Distribución de grandes canchales

Aunque los tramos excavados y los túneles son las áreas más seguras debido a la protección que le ofrecen al viandante ante la caída de rocas, es necesario incidir en que el riesgo por desprendimiento en la Ruta del Cares nunca se puede considerar nulo. En algunos de los túneles se observan grietas (Figura 43) que han de ser vigiladas por los responsables del Parque Nacional. Un aumento en el espaciado de las mismas pueden suponer el desprendimiento de un gran bloque de roca como ocurrió el 17 de abril de 2012 en la Madama de la Huertona, que posteriormente requirió de una importante rehabilitación para hacer posible de nuevo el tránsito (Figura 44). Dicha grieta llevaba siendo vigilada desde 1984 hasta que, en 2011, se detectó un ligero desplazamiento por lo que la dirección del parque decidió hacer un seguimiento más detallado hasta que finalmente se desprendió, sin ocasionar víctimas. Aunque éste sea un caso aislado y extremadamente raro en la Ruta del Cares, no lo hace menos importante y/o peligroso. Por ello, es imprescindible llevar un control exhaustivo de las grietas y de la evolución de las mismas.



Figura 43. Grietas en uno de los túneles de la Ruta del Cares

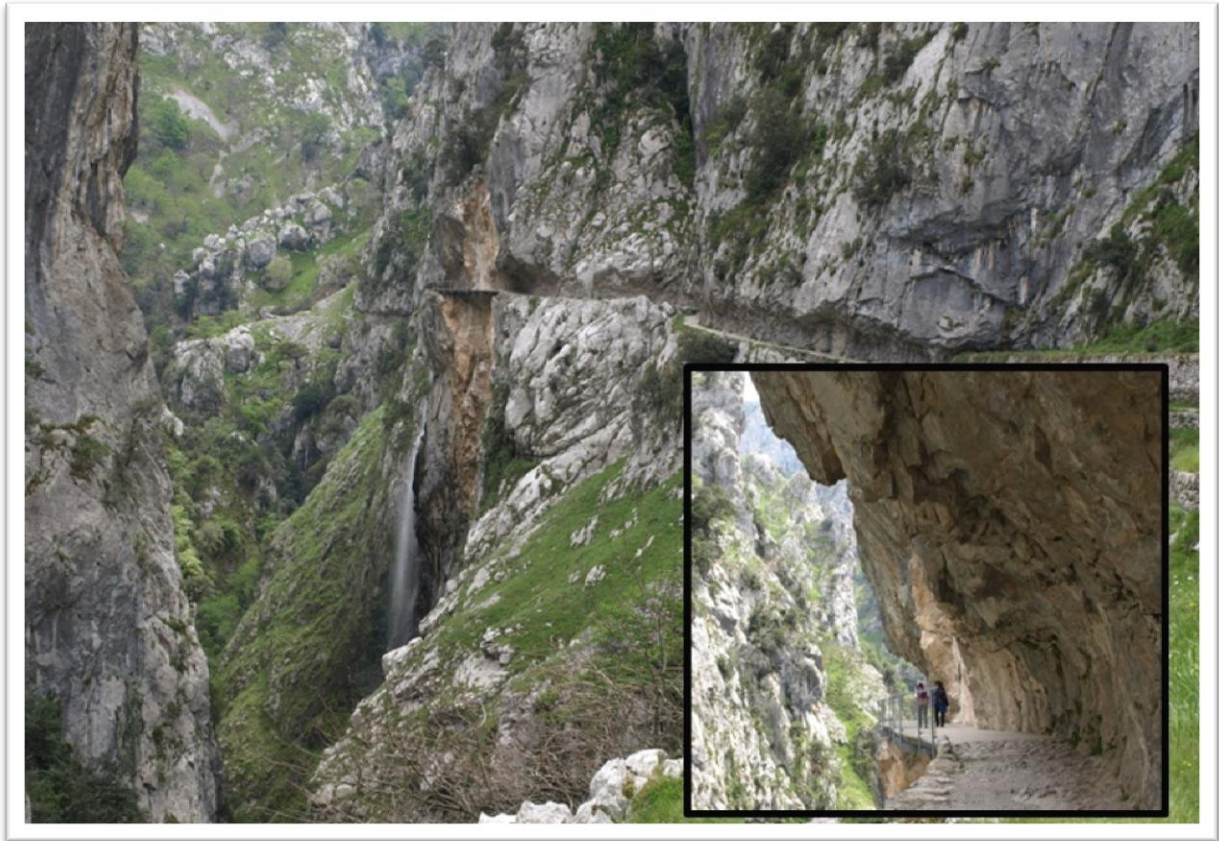


Figura 44. Puente instalado en el área de la Madama de la Huertona tras el desprendimiento del 17 de abril de 2012.

Además de las áreas con predominio de canchales, presentan un alto riesgo de caída de rocas aquellas por las que circulan canales como, por ejemplo, la Canal de Trea, la Canal del Saigu o la de la Viña (Figura 45). Aunque parte del año parece relativamente inactivo, este tipo de canales muestran actividad de canalización de aludes y en la época del deshielo adquieren un carácter fluviotorrencial con un importante transporte de material que, junto con una marcada fuerza erosiva, arrastra a su paso todo lo que encuentra.

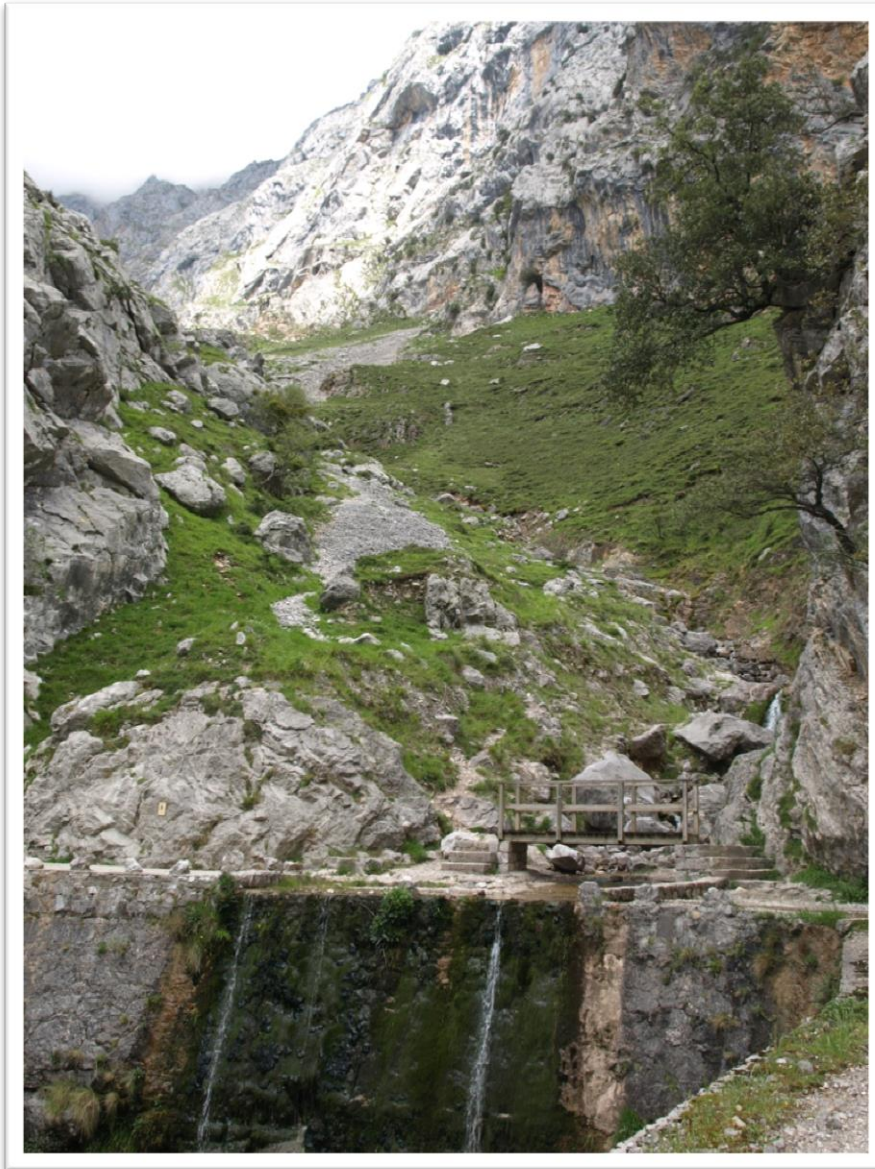


Figura 45. Canal torrencial con actividad mixta de caída de rocas y aludes. Área de la Viña - Ruta del Cares.

En algunos tramos se pueden observar medidas estructurales de protección tales como pequeños muros de contención (Figura 46) y bermas (Figura 47). También se disponen un gran número de pequeñas escolleras que no siempre son funcionales (Figura 48) y en algunos casos presentan un estado muy precario (Figura 49). Junto a estas medidas, al inicio de la ruta en Poncebos, hay instaladas mallas de triple torsión que recogen gran cantidad de material evitando que este alcance la carretera (Figura 50).

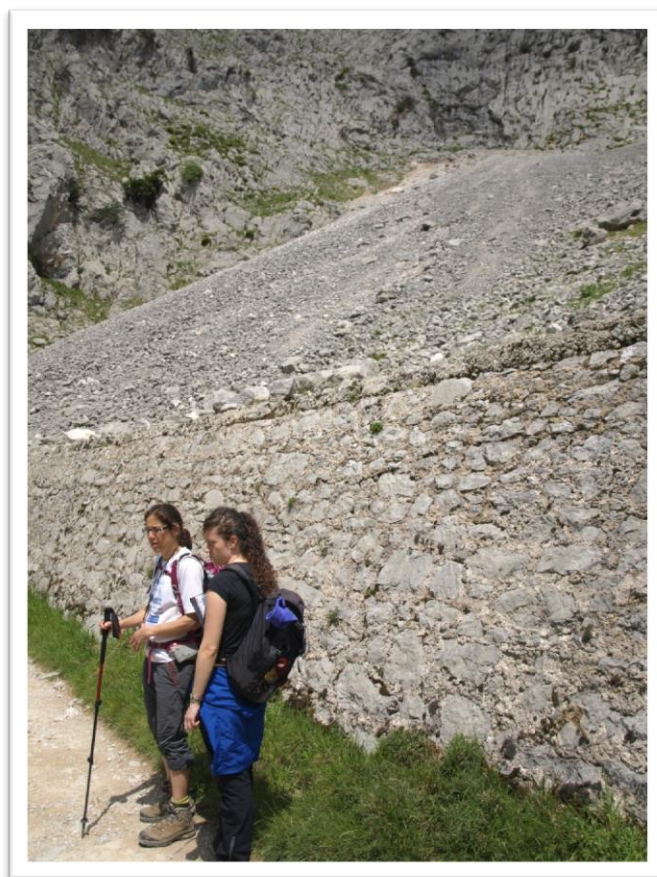


Figura 46. Muro de contención en un tramo de la Ruta del Cares.



Figura 47. Muros de contención y bermas en zonas aledañas a la Senda del Cares.



Figura 48. Pequeñas escolleras en un tramo de la Ruta del Cares



Figura 49. Escolleras en estado precario en uno de los tramos de la Ruta del Cares

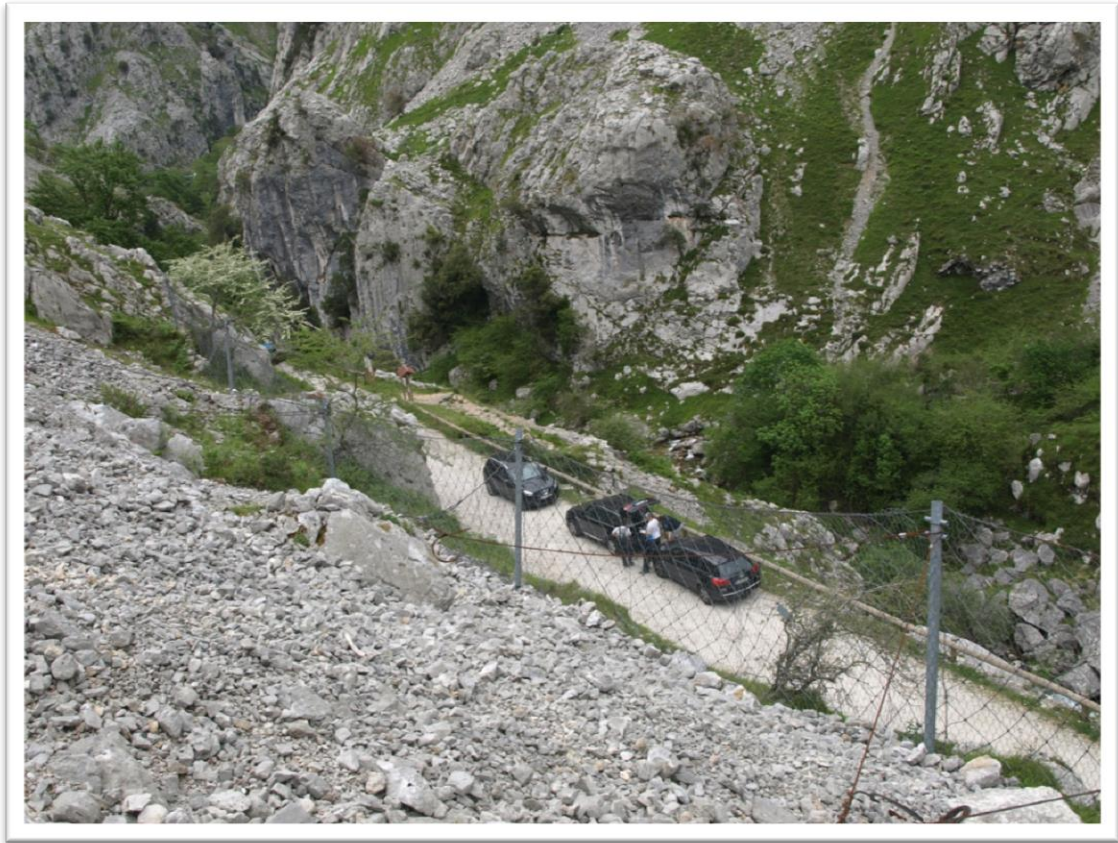


Figura 50. Redes de contención al inicio de la Ruta del Cares por Poncebos.

A partir de toda la información previamente detallada se puede llevar a cabo una zonificación de la peligrosidad por procesos de ladera a lo largo de todo el recorrido de la Ruta del Cares. Esta zonificación está especialmente orientada al riesgo por caída de rocas, que es el principal proceso que ha ocasionado heridos y desperfectos en el firme de la senda.

Se han establecido cuatro categorías de peligrosidad: baja, media, media-alta y alta.

- I. **Peligrosidad baja:** esta categoría incluye todos aquellos tramos que circulan por túneles o excavados en el propio macizo y que quedan protegidos de la caída de rocas, además de aquellos tramos que están fuera del alcance de caída de rocas. Hay que señalar que el riesgo no es nulo ya que la presencia de grietas en determinados casos podría llegar a ocasionar el desplome de un gran bloque, aunque esto sea algo extremadamente puntual y no tan habitual como la caída de rocas.
- II. **Peligrosidad media:** aquí se contemplan todos aquellos tramos de la senda en los que no existan escarpes o exposición de materiales que puedan verse movilizados o, en caso de que así fuera, la morfología de la ladera permitiría que los bloques movilizados pasaran por encima de la Senda hacia el fondo del valle sin afectarla.

III. Peligrosidad media-alta: esta categoría recoge los tramos con presencia de canchales y en los que la Senda transcurre por una parte convexa de la ladera. También se han considerado dentro de esta categoría aquellas áreas en las que el camino se ve atravesado por canales con actividad fluviotorrencial o de caída de aludes.

IV. Peligrosidad alta: todos los tramos con amplia distribución de canchales y en los que, además, la senda discurre por una parte cóncava de la ladera.

Las dos primeras categorías (baja y media) se concentran prácticamente en su totalidad en la parte leonesa de la Ruta del Cares. Es en esta parte donde la Senda discurre principalmente a través de túneles o excavada en la roca. Las categorías de peligrosidad media-alta y alta, predominan en la parte asturiana próxima a Poncebos donde se concentran zonas con grandes extensiones de materiales sueltos.

Atendiendo a estas cuatro categorías se obtiene el mapa de zonificación de la peligrosidad por procesos de ladera en la Ruta del Cares que se muestra en la Figura 51.

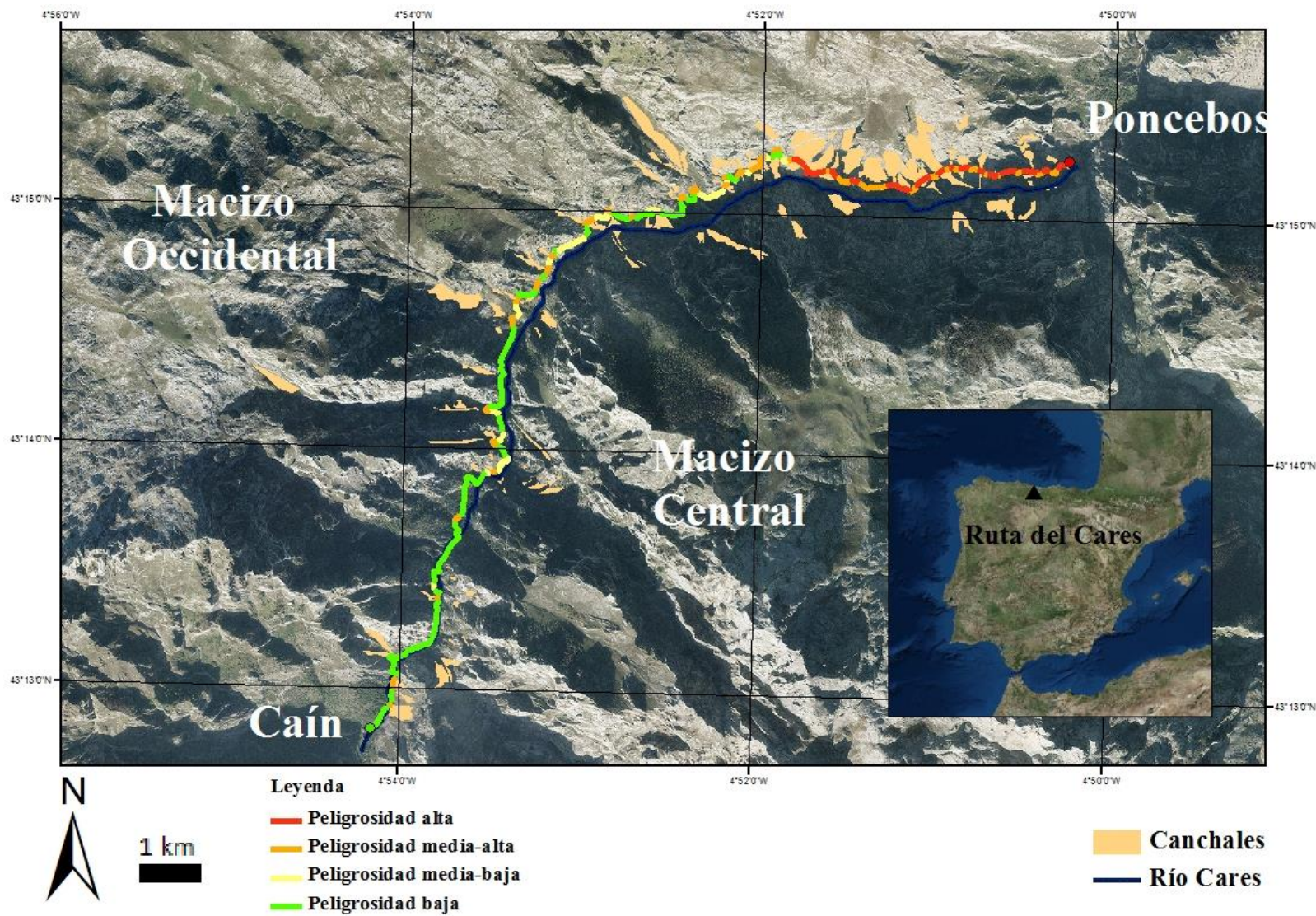


Figura 51. Zonificación de la peligrosidad por procesos de ladera en la Ruta del Cares.

6. Conclusiones

Los resultados obtenidos a partir de la realización de este trabajo han permitido extraer las siguientes conclusiones:

Del total de las 54 incidencias registradas en los archivos de prensa (período 2001-2016) y de los registros del 112 Asturias (período 2013-2016) relativas a la Senda del Cares, el 23% se debe a procesos de ladera frente a un 77% ocasionado por otros factores tales como deshidratación, desvanecimientos, esguinces, etc.,

Entre las 22 incidencias vinculadas a inestabilidades de ladera en 6 ocasiones han generado daños personales, llegando a causar 9 heridos y la muerte a 2 personas. En relación al factor desencadenante se ha podido constatar que 4 de ellas han sido desencadenadas por precipitaciones, 3 por nevadas, 2 por incendios y el resto (13) carecen de información acerca de la causa que las ha provocado.

Desde el punto de vista metodológico, los registros que se pueden consultar en las hemerotecas digitales de prensa escrita constituyen registros sistemáticos y ordenados al alcance de todos y de fácil acceso, si bien son limitados porque no se registran todas las inestabilidades que tienen lugar, sino casi exclusivamente aquellas que generan daños materiales o humanos. Por otro lado, información aportada no siempre permite ubicar los procesos ni identificar la causa de los mismos

Para valorar el riesgo potencial ligado a las inestabilidades de ladera, es necesario considerar los factores que influyen en la peligrosidad del fenómeno, así como los que influyen en la exposición y vulnerabilidad ante el mismo.

En cuanto a los factores que determinan la peligrosidad de las laderas, se ha constatado que son, fundamentalmente, de tipo estructural, orográfico y climático. Desde el punto de vista estructural, el grado de fragmentación y diaclasado del macizo rocoso hace que se favorezca en mayor o menor medida el desprendimiento de bloques susceptibles de caer a la Senda. Por lo que se refiere a la orografía, la distribución de pendientes en la ladera que se encuentra por encima de la senda influye en la actividad por caída de rocas de dicha ladera así como su alcance. Desde el punto de vista climático, las precipitaciones (en forma de agua o nieve), los vientos y las heladas son los fenómenos que más incidencias causan en la Ruta del Cares. El factor climático está también relacionado con la generación de incendios que también se relacionan con la caída de rocas.

La vulnerabilidad y exposición al riesgo en la Ruta del Cares está fundamentalmente relacionada con la afluencia de visitantes, de tal forma que cambia estacionalmente de manera directamente proporcional a dicha afluencia.

La cartografía de peligrosidad por caída de rocas en la Senda del Cares elaborada en este trabajo ha permitido constatar que hay 4.672,3 m de peligrosidad baja, 1.600 m de peligrosidad media, 2.684,2 m de peligrosidad media-alta y 1.641,4 de peligrosidad alta. El tramo donde se concentran principalmente las altas peligrosidades corresponde al inicio de la Ruta desde Poncebos. Asimismo, aquellas zonas en las que la Senda se ve atravesada por canales que transportan gran cantidad de material, sobre todo en épocas de deshielo, como es el caso de la Canal del Saigu, La Viña, la Canal de Culiembro o la Canal de Trea, la peligrosidad se considera media-alta. En el resto del camino, los visitantes podrían estar protegidos del impacto de una caída de rocas por la configuración de la propia senda excavada en la roca.

Este mapa de zonificación de la peligrosidad junto con una mejor señalización de las zonas de riesgo y los trabajos de retirada de materiales que periódicamente realizan las cuadrillas de obras del Parque Nacional, puede contribuir a mitigar los daños ocasionados por la caída de rocas en la Ruta del Cares, con una disminución notable en el número de accidentes.

7. Bibliografía

- Agencia Estatal de Meteorología, www.AEMET.es
- Adrados González L., Alonso Alonso V., Bahamonde Rionda J.R., Farias Arquer P., Fernández González L.P., Gutiérrez Claverol M., Heredia Carballo N., Jiménez Sánchez M., Meléndez Asensio M., Merino Tomé O., Villa Otero E., (2010). *Guía Geológica del Parque Nacional de Los Picos de Europa*. Instituto Geológico y Minero de España. Ministerio de Ciencia e Innovación.
- Ayala-Carcedo F.J., Cubillo-Nielsen S., Alvarez A., Domínguez M.J., Caín L., Laín R., y Ortiz G. (2003). *Large scale rockfall reach susceptibility Maps in La Cabrera Sierra (Madrid) performed with Gis and Dynamic Analysis at 1:5000*. *Natural Hazards* 30: 325-340.
- Ballesteros D., Malard A., Jeannin P-Y., Jiménez-Sánchez M., García-Sanseguno J., Meléndez M. y Sendra G. (2013a). *Geometría y direcciones de flujo de aguas subterráneas preliminares de acuíferos kársticos mediante el método KARSYS. Picos de Europa, Norte de España*. In: Alvarado-Berrezueta E. y Domínguez-Cuesta M.J. (eds.) *Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológico-mineros. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*, Instituto Geológico y Minero de España. Oviedo. 51-60.7
- Ballesteros D., Jiménez-Sánchez M., Domínguez-Cuesta M.J., García-Sanseguno J. y Meléndez M. (2013b). *El Global Geosite SK004 Picos de Europa (España). Caracterización de los sistemas kársticos y catálogo de formas para su evaluación como Patrimonio Geomorfológico*. In: Mata Perelló J. (ed.) *Libro de Actas del XIV Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero*. Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero. Manresa 33-52.
- Ballesteros D., Jiménez-Sánchez M., García-Sanseguno J. (2013c). *Patrimonio geológico subterráneo en espacios naturales protegidos: caracterización geomorfológica preliminar de sistemas kársticos profundos en el Parque Nacional de los Picos de Europa (España)*. In: Vega J., Salazar A., Díaz-Martínez E., y Marchán C. (eds.) *Cuadernos del Museo Geominero, 15: Patrimonio Geológico, un recurso para el desarrollo*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 361-370.
- Ballesteros D. 2016. *Geomorfología y evolución geomorfológica de las cuevas alpinas de los Picos de Europa, Cordillera Cantábrica (España)*. Tesis doctoral (inédita). Universidad de Oviedo. Pp. 325.

- Barredo J., Benavides A., Hervás J., Van Westen C.J. (2000). *Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain*. JAG, vol. 2, issue 1.
- Beguería S. (2006). *Changes in land cover and shallow landslide activity: a case study in the Spanish Pyrenees*. Geomorphology 74, 196-206.
- Boletín Oficial del Estado. Número 98 de 24 de abril de 2015.
- Bosque-Sendra J. (1997). *Sistemas de información geográfica*. Ed. Rialp. 451 pp.
- Botey R., Guijarro J.A., Jiménez A. (2013). *Valores normales de precipitación mensual 1981-2010*. AEMET
- Brandolini P., Faccini F., Piccazzo M. (2006). *Geomorphological hazard and tourist vulnerability along Portofino Park Trails (Italy)*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 6, 563-571.
- Brocx M., Semeniuk V. (2007) *Geogeritage and geoconservation: history, definition, scope and scale*. Journal of Royal Society of Western Australia 90: 53-87.
- Brunsden D., Ibsen M.L. (1994). *The nature of the European archive of historical landslide data, with specific reference to the United Kingdom*. Casale R., Fantechi R., Flageollet L.C. (eds), temporal occurrence and forecasting of landslides in the European Community. Final report 1, pp. 23-70, European Community-Epock Programme.
- Chandler J.H. Brunsden D. (1995). *Steady state behavior of the black ven mudslide: the application of archival analytical photogrammetry to studies of landform change*. Earth Surface Processes and Landforms 10, 155-275.
- Conoscenti C., Di Maggio C., Rotigliano E. (2008). *GIS analysis to assess landslide susceptibility in a fluvial basin of NW Sicily (Italy)*. Geomorphology 94, 325-339.
- Copons R. (2007). *Avaluació de la perillositat de caigudes de blocs rocosos al Solá d'Andorra la Vella*. Monografies del CENMA, Institut d'Estudis Andorrans, 213 pp.
- Coratza P., Ghinoi A., Piacentini D., Valdati J. (2008). *Management of geomorphosites in high tourist vocation area: an example of geo-hiking maps in the*

Alpe Di Fanes (Natural Park of Fanes-Senes-Braies, Italian Dolomite. GeoJournal of Tourism and Geosites. Year I, no. 2, pag. 106-117.

- Corominas J., Moya J. (1999). *Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River Basin, Eastern Pyrenees, Spain. Geomorphology 30, 79-93.*
- Corominas J., Copons R., Vilaplana J.M., Altimir J., Amigó J. (2003). *Integrated landslide susceptibility analysis and hazard assessment in the Principality of Andorra. Natural Hazards 30, 421-435.*
- Davies M.C.R., Hamza O., Harris C. (2001). *The effect of rise in mean annual temperature on the stability of rock slopes containing ice-filled discontinuities. Permafrost and periglacial processes, 12, 137-144.*
- De Graft J., Gallegos J. (2012). *The challenge of improving identification of rockfall hazard after wildfires. Environmental & Engineering Geoscience, Vol XVIII, pp. 389-397. The geological society of America*
- Diario de León: <http://www.diariodeleon.es/noticias/hemeroteca.php>
- Domínguez-Cuesta M.J., Jiménez-Sánchez M., y Rodríguez García A. (1996). *Utilidad de los archivos de prensa en el estudio de las inestabilidades de ladera en Asturias (NO de España). Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe, 21, 393-404.*
- Domínguez-Cuesta M.J., Jiménez-Sánchez M., y Rodríguez García A. (1999). *Press archives as temporal record of landslides in the North of Spain: relationships between rainfall and instability slope events. Geomorphology. V.30, 125-132.*
- Domínguez-Cuesta M.J., Jiménez-Sánchez M., Berrezueta E. (2007). *Landslides in the Central Coalfield (Cantabrian Mountains, NW Spain): geomorphological features, conditioning factors and methodological implications in susceptibility assessment. Geomorphology, 89, 3-4, 358-369.*
- Domínguez-Cuesta M.J., Jiménez-Sánchez M., Colubi A., González-Rodríguez G. (2010). *Modelling shadow landslide susceptibility: a new approach in logistic regression by using favourability assessment. International Journal of Earth Sciences, 99: 661-974. 1437-3254.*
- El Comercio: <http://www.elcomercio.es/hemeroteca/>

- Farias P. (1982). *La estructura del Sector Central de Los Picos de Europa*. Trabajos de Geología. Univ. De Oviedo, 12, 63-72.
- Fernández M., Vilaplana J.M. (2004). *Factores meteorológicos que desencadenan desprendimientos de rocas en Vall de Núria*. Riesgos naturales y antrópicos en geomorfología. Actas de la VIII Reunión Nacional de geomorfología, Toledo, vol. 2, 389-401.
- Frattini P., Crosta G., Carrara A., Agliardi F. (2008). *Assessment of rockfall susceptibility by integrating statistical and physically-based approaches*. Geomorphology 94, 419-437.
- Fuertes-Gutiérrez I., Fernández-Martínez E. 2012. *Mapping geosites for geoheritage management: a methodological proposal for the Regional Park of Picos de Europa (León, Spain)*. Environmental Management 50, 789-806.
- Furdada Bellavista G. (2006). *Aludes de nieve. Riesgo actual y riesgo futuro*. Grupo de Investigación de Riesgos Naturales RISKNAT.20, 73-88
- Garland G., Olivier M. (1993). *Predicting landslides from rainfall in a humid, subtropical region*. Geomorphology 8, 165-173.
- González Trueba J.J. (2007). Geomorfología del Macizo Central del Parque Nacional de los Picos de Europa. Organismo Autónomo Parques nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, 231 pp.
- González Trueba J.J., Serrano Cañadas E. (2008). *La valoración del patrimonio geomorfológico en espacios naturales protegidos. Su aplicación al Parque Nacional de los Picos de Europa*. Boletín de la A.G.E. Nº 47.
- González Trueba J.J., Serrano Cañadas E. (2010). *La nieve en los picos de Europa: implicaciones geomorfológicas y ambientales*. Cuadernos de investigación geográfica, Nº 36, 61-84.
- González Trueba J.J., Serrano Cañadas E. (2011a). Environmental education and landscape leisure. Geotouristic map and geomorphosites in the Picos de Europa National Park. Geojournal of Tourism and Geosites, 8 (2), 309-318.

- González Trueba J.J., Serrano Cañadas E. (2011b). *Geomorfología del Macizo Occidental del Parque Nacional de los Picos de Europa*. Organismo Autónomo Parques nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, 212 pp.
- Guido U., Caprinali A. y Majorca L. (2013). *Rockfall and debris flow hazards after summer wildfires in Cerrato Sannita, Benevento, Italy*. C. Margottini et al. (eds), *Landslide Science and Practice*, Vol 4, 217-225.
- Hengxing L., Martin C.D., Chenghu Z., Ho Lim C. (2010). Rockfall hazard analysis using Lidar and spatial modeling. *Geomorphology* 118, 213-223.
- IGME (2010): Mapa Geológico Digital Continuo E. 1:50000, Zona Cantábrica (zona-1000). Sistema de Información Geológica Continua. <http://info.igme.es/cartografiadigital/Geologica/Default.aspx> (acceso marzo 2016).
- Innes J.L. (1983). *Debris flows*. *Progress in Physical Geography* 7, 469-501.
- Ilies D.C., Dehoorne O., Ilies A. (2011). *Some examples of natural hazards effecting geosites and tourist activities*. *Geojournal of Tourism and Geosites*. Year IV, no. 1, 33 – 38.
- Instituto Geográfico Nacional, www.ign.es
- Jiménez-Sánchez M., Farias P. (2002). *New radiometric and geomorphologic evidences of a last glacial maximum older than 18 ka in SW European Mountains: the example of Redes Natural Park (Cantabrian Mountains, NW Spain)*. *Geodinámica Acta*, 15, 93-101.
- Jiménez-Sánchez M., Durán J., López Martínez J., Martos E., Arrese B. (2004). *Estudios geomorfológicos en cavidades kársticas de España*. En: Andreo B. y Durán J. (eds.) *Investigaciones en sistemas kársticos españoles*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Madrid 333-349.
- Jiménez-Sánchez M., Ballesteros D., Rodríguez-Rodríguez L., García-Ruiz J.M., Domínguez-Cuesta M.J., Farias P., Valero-Garcés B., Moreno A., Rico M., Valcárcel M. (2013). *A review of glacial geomorphology and chronology in northern Spain: Timing and regional variability during the last glacial cycle*. *Geomorphology*, 169, 50-64.

- Jiménez-Sánchez M., Ballesteros D., Rodríguez-Rodríguez L., Domínguez-Cuesta M.J. (2014). *The Picos de Europa National and Regional Parks*. En: Gutiérrez F. y Gutiérrez M. (eds.) *Landscape and Landforms of Spain*. Springer. Berlín. 155-163.
- Johnson A.M., Rodine J.R. (1984). *Debris flow*. En: Brundsen D., Prior D.B. (eds.), *Slope instability*. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, 257-361.
- Jordan P., Curran M. (2009). *Terrace Mountain fire, 2009, K50720 Post-wildfire risk analysis*. BC Ministry of Forests and Range, Southern Interior Forest Region
- Julivert M., Navarro D. (1984). Mapa geológico de España E. 1:50000, hojas nº 55 y 56.
- La Nueva España: <http://www.lne.es/servicios/hemeroteca/hemeroteca.jsp>
- Lotze F. (1945). Zur Gliederung der Varisiden der Iberischen Meseta. *Geotektonische Forschungen*, 6, 78-92.
- MAGRAMA. ERHIN: <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-los-recursos-hidricos/erhin/>
- MAGRAMA. Incendios forestales: <http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/incendios-forestales/>
- Marcos A. (1967) *Estudio geológico del reborde NW de los Picos de Europa (Región de Onís, Cabrales, Cordillera Cantábrica)*. *Trabajos de geología*, 1, 39-46.
- Marquínez J. (1978). *Estudio geológico del sector SE de los Picos de Europa (Cordillera Cantábrica, NW de España)*. *Trabajos de geología*, 17, 137-144.
- Marquínez J. (1989). Mapa geológico de la Región del Cuera y los Picos de Europa. *Trabajos de Geología*, 17, 137-144.
- Marquínez J., Menéndez-Duarte R., Farias P., Jiménez M. (2003). *Predictive GIS-based Model of rockfall activity in mountain cliffs*. *Natural hazards* 30, 341-360.
- Martínez-García E. (1981). El Paleozoico en la Zona Cantábrica oriental (Noroeste de España). *Trabajos de Geología*, 11, 95-127.

- Martínez-García E., Marquínez J., Navarro D., Heredia N. y Rodríguez Fernández L.R. (1984). Mapa Geológico de España E. 1:50.000, hoja nº 56. (Carreña-Cabrales). Memoria explicativa por Martínez García, E. y Rodríguez Fernández, L.R. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 45 p. +
- Mass K. (1974). The geology of Liebana, Cantabrian Mountains, Spain; deposition and deformation of a flysch area. *Lidse Geologische Medereelingen*, 49, 379-465.
- Matsuoka N., Sakai H. (1999). *Rockfall activity from an alpine Cliff during thawing periods*. *Geomorphology*, 28, 309-328.
- Memoria Parque Nacional Picos de Europa, 2010.
- Memoria Parque Nacional Picos de Europa, 2011.
- Memoria Parque Nacional Picos de Europa, 2012.
- Memoria Parque Nacional Picos de Europa, 2013.
- Memoria Parque Nacional Picos de Europa, 2014.
- Menéndez Duarte R., Marquínez J. (2002). *The influence of environmental and lithologic factor son rockfall at a regional scale: an evaluation using GIS*. *Geomorphology* 43, 117-136.
- Merino-Tomé o., Colmenero J., Bahamonde J.R., y Fernández L. (2004a). *Ciclicidad sedimentaria asociada a discordancias sintectónicas en la sucesión estefaniense de la Región de Picos de Europa (NO de España)*. *Geotemas*, 6, 99-102.
- Mohammadi Torkashvand A., Irani A., Sorur J. (2014). *The preparation of landslide map by landslide numerical risk factor (LNRF) model and geographic information system (GIS)*. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciencces* 17, 159-170.
- Moreno A., Valero-Garcés B.L., Jiménez-Sánchez M., Domínguez-Cuesta M.J., Mata M., Navas A., González-Sampériz P., Stoll H., Farias P., Morello M., Corella J. y Rico M. 2010b. The last deglaciation in the Picos de Europa National Park (Cantabrian Mountains). *Journal of Quaternary Science*, 25, 1076-1091.

- Muñoz J. (1982). *Geografía física. El relieve, el clima y las aguas*. Ayala ediciones. Salinas. 271 pp.
- Panizza, M, (1987), *Geomorphological hazard assessment and the analysis of Geomorphological risk* In: Gardiner V. (ed.): International Geomorphology 1986 Part I. John Wiley & Sons Ltd., London: 225-229.
- Pelfini M., Brandolini P., Carton A., Pizacco M. (2007). *Rapresentazione in carta delle caratteristiche dei sentieri ai finid ella mitigazione del rischio geomorfológico (Cartographic representation of the trails characeristics for mitigation of geormophological risk)*. Bolletino della Associazione Italinana di Cartografia 126-128: 101-123.
- Pérez-Estaún, A. y Bea, F. (editores). (2004). Macizo Ibérico. En: Geología de España (Vera, J.A. Ed.), SGE-IGME, Madrid, 19-230.
- Pradhan B., Lee S. (2007). *Utilization of optical remote sensing data and gis tools for regional landslide hazard analysis using an artificial neural network model*. Earth Science Fronteries, Vol. 14, issue 6, 143-152.
- Royán M.J., Vilaplana J.M. (2012). Distribución espacio-temporal de los desprendimientos de rocas en la montaña de Montserrat. Cuaternario y geomorfología, 26 (1-2), 151-170.
- Sánchez De Posada L. y Truyols J. (1983). El Carbonífero en la Región de Picos de Europa. En: Martínez Díaz, C. (ed) Carbonífero y Pérmico de España. Universidad de Oviedo. Madrid. 106-115.
- Santacana N., Baeza B., Corominas J., De Paz A., Marturiá J. (2003). *A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in La Pobla de Lillet área (Eastern Pyrenees, Spain)*. Natural Hazards 30, 281-295.
- Sass O. (2005). *Temporal of rockfall in the Bavarian Alps, Germany*. Artic, Antartic, and alpien Research, 37, 564-573.
- Selby M.J. (1982). *Hillslope materials and processes*. Oxford University Press, Oxford, 264 pp.

- Serrano, E., González Trueba, J.J. (2005). Assessment of geomorphosites in natural protected areas: the Picos de Europa National Park (Spain). *Geomorphologie*, 3, 197-208.
- Servicio de Emergencias del 112 de Asturias.
- Tanarro L.M., Muñoz J. (2012). Rockfalls in the Duratón Canyon, central Spain: inventory and statistical analysis. *Geomorphology* 169-170, 17-29.
- Truyols J. (1983). El Carbonífero inferior y medio de la región del Ponga. En: Martínez García E. (ed.) *Carbonífero y Pérmico de España*. Universidad de Oviedo. Madrid. 82-94.
- Vada Manzanal J.A. (2011). *Estimación del riesgo de alludes en el PR-PNPE 21: Vega de Urriellu, Macizo Central de los Picos de Europa*. Institut Geologic de Catalunya.
- Vada Manzanal J.A., Frochoso M., Vilaplana J.M. (2012). *Evaluación y cartografía del riesgo de aludes en el camino PR-PNPE 21 de acceso a la Vega de Urriellu, Picos de Europa (Noroeste de España)*. *Cuaternario y Geomorfología*, 26 (1-2), 29-47.
- Whalley W.B. (1984). *Rockfalls*. In: Brundsen and D.B. Prior (eds), *slope instability*, John Wiley, Chichester, 217-256.