

Cartografía del riesgo de deslizamientos y desprendimientos en un sector del Valle de Benasque (Pirineo Aragonés)

Trabajo de fin de Grado

Juan Torres Batlló



Barcelona, Junio de 2014.

*Agradecer la ayuda recibida por parte de mi tutora del trabajo la Dra. M^a Carmen Moreno. Ella ha tutelado, guiado y corregido mi trabajo y agradezco su predisposición en todo momento.

Agradecer también a la Fundación de los Llanos del Hospital y a los Bomberos de la Ribagorza Norte (cuartel de Vilanova), tanto la ayuda recibida en el trabajo de campo como la información generada (datos, fotografías, etc) que ha sido de gran ayuda.

Índice

1. Introducción.....	5
1.1 Motivación.....	5
1.2 Objetivos.....	6
1.3 Metodología.....	6
1.4 Plan de Trabajo.....	7
2. El área objeto de estudio: características.....	7
2.1 Marco Físico.....	7
2.1.1 Situación y localización del área de estudio.....	7
2.1.2 Características geológicas y geomorfológicas.....	9
2.1.3 Características climáticas.....	10
2.1.4 Características hidrográficas.....	11
2.1.5 Características biogeográficas.....	12
2.2 Marco Humano.....	13
2.2.1 Características demográficas.....	13
2.2.2 Características económicas.....	14
2.2.3 Infraestructuras.....	15
3. El riesgo natural de los procesos gravitacionales.....	16
3.1 Definición del riesgo.....	16
3.2 Los movimientos gravitacionales.....	17
3.2.1 Controles y desencadenantes de los flujos de derrubio o deslizamientos (debris flow).....	20
3.2.2. Controles y desencadenantes de los desprendimientos (rock falls).....	24
4. Análisis de los procesos gravitacionales en el área de estudio.....	26
4.1 Antecedentes históricos del riesgo natural en el área de estudio.....	27
4.2 Características de la zona de estudio.....	28
4.2.1 Unidades Paisajísticas (Factores condicionantes).....	28
• Deslizamientos.....	31
• Desprendimientos.....	51
4.2.2 Cuadro atributivo de deslizamientos.....	57
4.3 Resultados del análisis.....	58
4.3.1 Análisis de los deslizamientos.....	58
4.3.2 Análisis de los desprendimientos.....	59
5. Cartografía resultante.....	60
6. Conclusiones.....	66
7. Bibliografía.....	68
8. Anexos.....	69

1. Introducción

En este trabajo de fin de grado se tratará sobre temas vinculados con los Riesgos Naturales dentro de un contexto puramente geográfico.

El tema principal de estudio serán los movimientos gravitacionales potencialmente peligrosos en una zona concreta del Valle de Benasque (Huesca). El área de estudio la situaremos en la cabecera del Valle, al margen izquierdo de la carretera A-139 a partir del kilómetro 66 de ésta. Dicho estudio abordará todos aquellos parámetros relacionados con los movimientos de laderas. De este modo, se realizará un análisis desde un punto de vista geográfico en la zona de interés donde intervendrán factores: climatológicos, geológicos, geomorfológicos, biogeográficos, hidrológicos, la intervención humana, etc.

El hecho de una interrelación tan amplia de factores es un buen ejemplo de lo que sería un estudio en geográfico. En él, intentaré relacionar todos aquellos factores que intervengan en el contexto geográfico de la zona de estudio para poder hallar unos resultados en los que estén todas las variables representadas, plasmándolo en una cartografía final.

1.2 Motivación

Los motivos que me han conducido a llevar a cabo esta investigación van directamente ligados con mis intereses profesionales y situación familiar.

Primeramente, decir que durante los 4 años de carrera me he dado cuenta de que uno de los temas que más ha llamado mi atención ha sido el vinculado con los Riesgos Naturales. Como anteriormente he comentado, creo que es uno de los temas más característicamente geográficos que existen, ya que en él podemos encontrar una relación muy fuerte entre el hombre/territorio y la naturaleza. Un estudio de este tema requiere un análisis exhaustivo del territorio así como de todas aquellas variables que lo conforman e interactúan en él.

La asignatura de Riesgos Naturales la cursé por primera vez en Las Palmas de Gran Canaria. La situación geográfica de la isla juntamente con sus características físicas crearon en mí una curiosidad extrema por el estudio de los Riesgos Naturales en zonas que potencialmente son muy vulnerables. Como es difícil realizar el estudio en Canarias debido a un tema de kilometraje, éste se realizará en un lugar mucho más próximo.

Por otro lado, mi familia siempre ha estado muy vinculada con el Valle de Benasque. Este valle de alta montaña es uno de los lugares más vulnerables al Riesgo de Desprendimientos dónde el fenómeno es bastante recurrente. El interés por este tema y la mayor proximidad y facilidad de acceso a la zona han hecho que el trabajo de fin de grado trate sobre los movimientos gravitacionales en el Valle de Benasque.

1.3 Objetivos

Los objetivos del trabajo están íntegramente relacionados con lo explicado anteriormente, es decir, se realizará un análisis de la zona de estudio dónde interactuarán una serie de variables (pendiente, litología, hidrología, vulnerabilidad, etc). Mediante la interacción de estas variables juntamente con el trabajo teórico y de campo se creará un resultado, objetivo, en forma de cartografía.

De este modo, el objetivo final del trabajo será la representación cartográfica de todos aquellos factores, anteriormente comentados, vinculados con el Riesgo del Desprendimiento en la zona de estudio. Dicha cartografía será presentada en el Ayuntamiento de Benasque.

1.3 Metodología

La metodología seguida en el trabajo ha incluido tres partes diferenciadas.

La primera, enmarcada en un ámbito puramente teórico, ha sido la vinculada con la recopilación de información mediante la bibliografía ya existente. De este modo, se ha podido adquirir la base teórica fundamental para enmarcar el estudio y establecer la definición de objetivos y los procedimientos de análisis.

Una parte metodológica importante del trabajo ha consistido en trabajo de campo. En este caso, el trabajo de campo, ha servido para caracterizar la zona de estudio y ha permitido recopilar toda la información que con la bibliografía no había sido posible conseguir como la información visual sobre (litología, vegetación, geolocalizaciones, entrevistas, etc).

Para la tercera y última parte con el análisis del riesgo y la obtención de la cartografía la herramienta utilizada más importante ha sido la vinculada con los Sistemas de Información Geográfica (SIG). El programa ArcGIS 10.1, ha permitido un estudio exhaustivo del territorio de la zona de estudio mediante la captura, el almacenamiento y la manipulación de todos los datos recogidos y que, posteriormente, han sido referenciados.

Primeramente, se ha recogido información mediante la descarga de la hoja 180 del archivo BTN (capas vectoriales) del Instituto Geográfico Nacional (IGN) para poder elaborar las capas vinculadas con la carretera A-139 y los cursos fluviales. Una vez descargadas estas capas, se ha descargado un Modelo de Elevaciones del área de estudio (Hoja 180) del IGN y mediante la herramienta *Hillshade* de ArcGIS se ha elaborado un mapa de sombras de la zona de estudio (mapa base) en el que se han introducido las variables vectoriales anteriormente comentadas. Este mapa ha sido utilizado como mapa base durante todo el estudio.

A partir de aquí, se ha creado un mapa de pendientes a través de la herramienta *Slope* y un mapa de alturas mediante la herramienta *TIN*. De este modo, se ha podido reflejar los diferentes grados de pendiente juntamente con la altura de cada una.

Una vez creada la variable de pendiente, la de altura y las variables vectoriales (carreteras y cursos fluviales), se ha creado la variable litológica. Esta variable se ha conseguido mediante los datos recogidos en el trabajo de campo que han sido introducidos en ArcGIS en forma de polígonos (vectorial). Otro factor que ha sido de gran ayuda ha sido la capa litológica de la zona (carta magna) extraída del Instituto Geológico y Minero.

Para la elaboración de la capa de vegetación se ha creado un NDVI (Índice de vegetación normalizado). La creación del NDVI ha consistido en la descarga de una serie de bandas infrarrojas que el satélite Landsat proporciona. Una vez descargadas han sido combinadas creando el NDVI. Esta capa tiene un valor de (-1 a 1) expresado en % y muestra las zonas ordenadas de mayor a menor densidad de vegetación.

La creación de todas estas capas con sus diferentes variables (pendiente, vegetación, litología, altura, etc) ha permitido la realización del análisis propuesto en la zona de estudio.

Mediante ArcGIS se ha creado una tabla atributiva en la que cada variable ha recibido un valor en función de la importancia que tiene como condicionante del riesgo. Los valores asignados han sido los siguientes en una escala de 0 a 1: pendiente (0,7), litología (0,3), acumulación nival (0,4), vegetación (0,3) y cursos fluviales (0,2).

La elaboración de los diferentes mapas (apartado 5) se ha realizado mediante la interacción de las variables interesantes en cada caso.

Para el mapa de peligrosidad se ha hecho una media ponderada y se ha creado un mapa ráster donde se han reflejado los valores medios de cada variable por cada célula ráster.

Para el mapa de vulnerabilidad se ha escogido la única variable vulnerable al riesgo que ha sido la carretera A-139 (vectorial) y se han determinado las zonas más y menos vulnerables.

La elaboración del mapa de riesgos ha consistido en una superposición entre el mapa de peligrosidad y el de vulnerabilidad. Las zonas que confluyen con alto grado de peligrosidad juntamente con las que tienen un alto grado de vulnerabilidad han sido determinadas como las zonas con un posible riesgo mayor.

1.4 Plan de Trabajo

El plan de trabajo se dividirá en tres fases. La primera hará referencia al marco teórico.

Durante los meses de Octubre, Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero se recopilará información proveniente de una búsqueda bibliográfica. Dicha información será estructurada y tratada para poder completar los diferentes apartados que componen el trabajo.

A partir del mes de Marzo y hasta principios de Mayo, el plan de trabajo pasará a ser práctico (segunda fase). Dedicaré los fines de semana para subir al Valle y llevar a cabo el trabajo de campo. El objetivo del trabajo de campo será la comparación de la teoría recopilada durante los meses anteriores con la observación real, la realización de fotografía y estudio del contexto de la zona.

La tercera fase será a partir del mes de Mayo cuando empezaré a recopilar toda aquella información proveniente del marco teórico obtenida anteriormente junto con la recopilada en el trabajo de campo y serán solapadas entre ellas, creando así, una cartografía resultante final.

2. El área objeto de estudio: características

2.1 Marco Físico

2.1.1 Situación y localización del área de estudio.

En este apartado se describirá el contexto geográfico de la zona de estudio.

La zona de estudio, en el Valle de Benasque, se localiza en el Pirineo, al noroeste de la provincia de Huesca, concretamente en la cabecera de la cuenca del río Ésera, a caballo entre Francia, Aragón y Cataluña. El estudio se centrará en la ladera del margen izquierdo del tramo final de la carretera A-139, concretamente a partir del kilómetro 66 de ésta. Dicha área de estudio abarca un total de 4,53km².



Foto 1: Señalización de la zona de estudio. Elaboración propia.

Se trata de una de las zonas más abruptas, con importantes desniveles y fondos de valle de los Pirineos. Sus límites están extremadamente vinculados con el relieve. De este modo, encontramos en el límite Norte una divisoria de montañas que separan España de Francia: Pico Perdiguero (3203 m), Salvaguardia (2738 m) y Oô (3048 m). El límite Oeste lo forman el Pico Posets (3368 m), el Tozal de Box (2731 m), Bagueñola (3058

m), entre otros. En el este se sitúa la divisoria que separa los Valles de la Noguera Ribagorzana y el Valle del Ésera. En esta zona encontramos las montañas más características, situadas en el macizo de la Maladeta, pico Rusell (3207 m), Mulleres (3013m), Vallibierna (3056 m), entre otros. El límite Sur lo constituyen una serie de picos más difusos y menos elevados, como el Gallinero (2732 m), Cibollés (2749 m), entre otros. (*Broto Aparicio, 1981*).

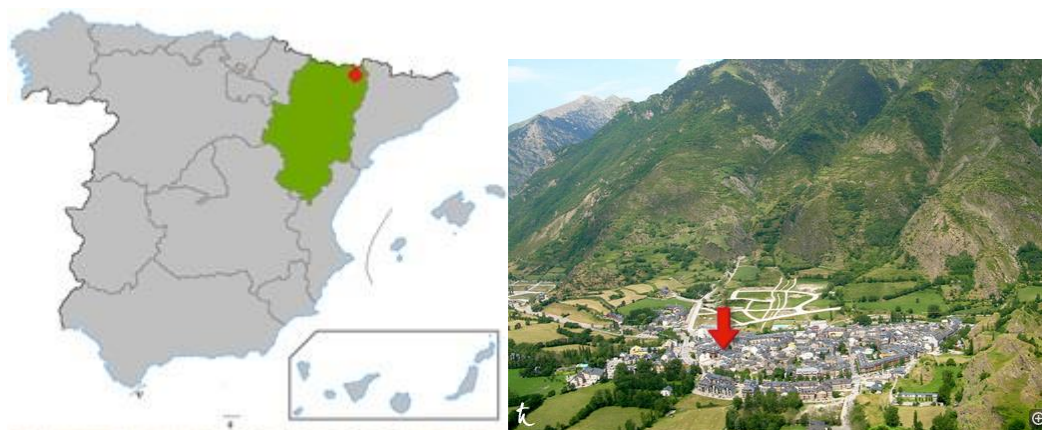


Foto 2 y 3: Situación geográfica de Benasque y fotografía del municipio. Elaboración propia.

El punto de menor cota del Valle (1050 m) se sitúa en el fondo del Valle del Ésera, cerca de la población de Sahún. El punto con mayor valor altitudinal se sitúa en el macizo de la Maladeta, el Pico Aneto (3404 m). Se trata de la segunda cumbre más alta de la Península y de la tercera más alta del Estado.

Los macizos más elevados constituyen la aglomeración más extensa de cumbres con más de 3000 metros de altura. Es el caso de los Macizos de la Maladeta (Este), Posets (Oeste), Perdiguero (Norte) y la Sierra Negra (Sur). Éste último es menos abrupto y espectacular, debido a la poca influencia que ha tenido el glaciario en la modelación del relieve. (*Enríquez, 1979*).

2.1.2 Características geológicas y geomorfológicas.

El área de estudio presenta una geología compleja. Su situación (zona Axial del Pirineo) hace que sea una zona donde encontramos formaciones sedimentarias y metasedimentarias paleozoicas fuertemente deformadas debido a la afección de las orogenias, en este caso, Hercínica y Alpínica.

La actual configuración orográfica tuvo lugar hace aproximadamente 200 millones de años cuando en la Era Primaria se produjeron una serie de hundimientos y levantamientos que conformaron una cordillera que actualmente es considerada el embrión de los Pirineos. En dicha época, se produjo una acumulación de sedimentos bajo el mar. Este proceso sedimentario originó la creación de diferentes capas con diferentes materiales. En las zonas superficiales, rocas calizas, en las partes intermedias, rocas metamórficas y en las partes más profundas, rocas graníticas. Mediante un proceso orogénico todos estos materiales afloraron a la superficie que más adelante se vio cubierta por el Mar de Tethys (Era Secundaria, 150 millones de años). (*Broto Aparicio, 1981*)

Es en la Era Terciaria (30 millones de años, aprox.) cuando se produce el verdadero resurgimiento de los Pirineos mediante el choque de placas (ibérica y europea). Los materiales más superficiales (más blandos), pasaron a segundo plano, ya que resbalaron permitiendo la afloración de los materiales más duros que había en el interior. Los primeros, blandos, formaron lo que actualmente conocemos como Pre-Pirineo (materiales calizos) y los más profundos formaron los Pirineos (graníticos).

Una vez finalizada la Era Terciaria vino la Cuaternaria. En esta época juegan un papel importantísimo los glaciares y, en consecuencia, su trabajo erosivo. Hace 45.000 años el Valle de Benasque era toda una placa de hielo gigante. Con el paso del tiempo, el hielo jugó un papel erosivo muy importante creando de este modo el Valle glacial de Benasque, donde se ve reflejada la característica forma de “U”. Una vez retirada la gran masa de hielo, la erosión fluvial es la responsable de la transformación de los valles a una forma de V. Esta forma particular de relieve es bien visible en el Valle de Benasque. Otras formas características como resultado de la erosión glacial son las morrenas, ibones, cubetas de sobreexcavación, etc. (*Enríquez de Salamanca, 1979*).

A pesar de los intensos desgastes que el relieve del valle ha sufrido, las montañas están consideradas jóvenes, ya que conservan una altura significativa y un período erosivo corto en comparación con otras cordilleras.

Las litologías más frecuentes son las pizarras, calizas y granitos. De todos modos, la litología más abundante son las pizarras y en ellas se encuentran de manera intermitente las calizas.

A pesar de la disminución considerable de los glaciares, en el Valle de Benasque es la zona donde se conservan los glaciares más extensos de los Pirineos, como es el caso del glaciar del Aneto.

2.1.3 Características climáticas.

Debido a su localización geográfica, su altitud y al relieve encontramos un clima muy variado según las diferentes zonas que conforman el Valle. El clima predominante es el de alta montaña donde tienen una gran importancia las oscilaciones térmicas y las abundantes precipitaciones a lo largo de todo el año. Entre las diferentes zonas del Valle puede darse una fuerte variación de las temperaturas y precipitaciones, debido a la influencia del relieve en las tormentas y en el estancamiento de las nubes.

En la estación meteorológica de Benasque (1138 m) se registra una precipitación media anual de 1182 mm contrastada con la que puede llegar a darse en las cumbres de hasta 2500 mm.

El máximo pluviométrico se produce en Otoño, seguido por la Primavera. El verano es característico por la formación de tormentas, fruto de los contrastes de temperatura en altura.

La temperatura media anual de Benasque es de 10°C y durante la estación fría (noviembre-abril) la isoterma 0°C se sitúa a 1700 m de altitud. Este factor es determinante para la dinámica del Valle, ya que explica que a pesar de los escasos episodios pluviométricos de invierno la acumulación de nieve tenga una gran influencia

hidrológica y geomorfológica. Es este el motivo por el cual el régimen fluvial muestra características nivales.

Los cielos despejados son muy frecuentes aunque, en las altas cumbres de la Maladeta, Posets, Perdiguero y Cotiella, no es raro que se agarren las nubes incluso en días soleados. Como anteriormente se ha comentado, en estas altas cumbres son peligrosas las tormentas veraniegas, por su importante aparato eléctrico. Por otra parte la humedad relativa, aunque muy variable también según la altitud y las estaciones, tiene un valor medio del 70%.

2.1.4 Características hidrográficas.

El cauce fluvial principal que encontramos en el Valle de Benasque es el de la cabecera del río Ésera. Dicho río nace en la vertiente norte del Valle, aproximadamente a 2500 metros de altura. Es un río típicamente pirenaico alimentado por la fusión del glaciar de Aneto y el alto régimen pluviométrico de la zona.

El río Ésera es el eje hidrográfico del valle de Benasque. Es el afluente del Cinca, al que se une bajo la población de Olvena y el embalse de El Grado, perteneciente, por tanto, a la cuenca hidrográfica del Ebro. Tiene su cabecera en los abruptos y altos barrancos que se forman entre la vertiente NE del macizo de la Maladeta y la divisoria con el valle de Arán, y que drenan las aguas procedentes de la fusión de los glaciares de dicho macizo.

En éste, su primer tramo sigue dirección SE-NW, para, al llegar a la altura del Hospital de Benasque, describir un arco de 90° y orientarse hacia el SW hasta el estrecho de Sahún donde vuelve a girar, esta vez hacia el S, para enfilarse el Congosto del Ventamillo, por el que sale del valle.

Entre sus afluentes por la orilla derecha señalaremos los torrentes de Remuñe y de Literola, separados por la Montaña de Aguas Pasas, que culmina en la Peña de Literola (2821 m) y en el pico de Remuñe (2874 m). El río éstos, que tiene sus fuentes al pie del Posets y del Perdiguero, está separado del último citado por un cordal que arranca del Perdiguero hacia el SE. Ambos cursos fluviales tienen sus cabeceras en las altas cuencas lacustres excavadas en la ladera oriental del Posets.

Más hacia el Sur, el torrente de Llisat, que procede del lago de Barbarisa, actúa como eje del valle de Sahún. Y, separado del anterior por la Sierra de Chía (2509 m), la Aigüeta de Barbarúens, que procede del macizo de Cotiella, el más meridional de los afluentes benasqueses del Esera.

Por lo que respecta a los afluentes de su orilla izquierda, mencionaremos en primer lugar los ríos de Cregüeña y Vallibierna, que se originan en los altos y grandes lagos que salpican la ladera SW del macizo de la Maladeta (lagos de Cregüeña, Coronas, Llosás, Vallibierna, etc), nutridos a su vez por el deshielo de los glaciares homónimos.

Al Sur de Benasque afluye el barranco de Remáscaro, procedente de los picos de Castanesa y Cerler. Más al Sur, por fin, lo hacen los barrancos de Urmella y Gabás, que bajan de la divisoria con el Valle del Isábena.

Ya se ha podido entrever que son muy numerosos y notables los lagos que salpican los altos valles benasqueses, especialmente en las laderas de los macizos de la Maladeta y

de Posets, pero también en otros parajes, como el precioso vallecito de Batisielles o en Lliterola. (Broto Aparicio, 1981).

Los fenómenos kársticos han dejado importantes huellas, particularmente en la zona alta de Posets y en la cabecera del Ésera.

En lo referente a las obras hidráulicas decir que existen en el valle un total de tres embalses: Paso Nuevo (1360 m), el de Estós (1360 m) y el del Linsoles (1077 m), este último destinado a la producción de energía eléctrica.

Existen también numerosos ibones fruto de la erosión glaciaria que hubo en un pasado lejano y que creó estos elementos característicos de la acumulación del agua.

El régimen fluvial de la zona se caracteriza por caudales altos durante los meses de primavera hasta principios de verano como resultado del deshielo y de las lluvias primaverales y por caudales bajos durante el invierno y comienzo de la primavera, debido a que las precipitaciones son menores y las que se dan, suelen ser en forma de nieve.

2.1.5 Características biogeográficas y edafológicas.

En cuanto a la flora es importante decir que existe una gran variedad de especies (más de 100) y una riqueza botánica muy característica. Las diferentes variaciones ambientales y orográficas del Valle han condicionado la existencia de diferentes pisos vegetativos altitudinales en los que conviven diferentes comunidades vegetales.

Encontramos un total de tres pisos de vegetación. Estos constituyen el paisaje del Valle y son los siguientes: Montano (hasta los 1800 m), Subalpino (1800-2400) y el Alpino (2400-3404 m). En el último encontramos también un subpiso, el Nival (por encima de los 2800 m).

En todos los pisos encontramos especies endémicas, pero es en el Alpino en el que se encuentran más. Este valle es un claro ejemplo de la adaptación de la flora a las condiciones difíciles, en este caso, la altitud.

El pino silvestre (*Pinus sylvestris*) es la especie predominante en el piso Montano donde alterna en los lugares más umbríos con el Abeto (*Abies alba*) e, incluso, con pequeñas formaciones de hayas (*Fagus sylvatica*). A medida que la altura aumenta, los bosques anteriormente citados dan lugar a los bosques de pino negro (*Pinus uncinata*) en el piso Subalpino. A partir de los 2400 m (piso Alpino) los bosques desaparecen dando lugar a comunidades herbáceas que a medida que la altura aumenta, van disminuyendo. Las más características de este piso vegetativo son: Edelweiss (*Leontopodium alpinum*), hierba algodónera (*Eriophorum agustifolium* y *E. latifolium*), etc. En las zonas más resguardadas del frío aparecen las especies caducifolias.

En lo referente a la fauna, hay una gran variedad de hábitats en los que se puede encontrar una amplia gama de especies, muchas de ellas endémicas (quebrantahuesos) que no se encuentran en otros lugares del planeta.

El animal más característico es el rebeco (sarrío), pequeña cabra montesa que habita junto con la marmota en la media y alta montaña. En los bosques son comunes el corzo, el jabalí y el gato montés.

Asimismo, la familia de los mustélidos está ampliamente representada, desde la nutria, pasando por el tejón, la comadreja, la marta, la garduña, el turón o el armiño, propio de la más alta montaña.

El rey de la avifauna es el quebrantahuesos, gran buitre de cerca de 3 m. de envergadura. Otras aves características del Pirineo son el urogallo, la lechuza Tengmalm o la perdiz nival.

Completan el cuadro faunístico varias especies de mariposas endémicas, desde la Isabelina, la más bella mariposa europea, o la *Lycaene helle*, reliquia glaciaria descubierta para la Península Ibérica en el Valle de Benasque.

Diversos factores como la topografía, el clima o los procesos potencialmente peligrosos han sido la causa de la poca actividad humana que se produce en el Valle. A pesar de ello existe una larga tradición de ocupación del territorio lo que ha producido un cambio en la geomorfología, hidrología del territorio. (*Cayetano Enríquez de Salamanca, 1979*)

Las bajas temperaturas en invierno juntamente con las temperaturas agradables del verano hacen que los cultivos sean temporales. Esto más las pronunciadas pendientes dificulta el desarrollo agrícola. Los Fondos de Valle son las zonas más propicias para la ocupación del territorio en relación a la agricultura. (*Juste Moles, 1990*).

2.2 Marco Humano

2.2.1 Características demográficas

De los primitivos pobladores del valle en tiempos prehistóricos poco o nada se sabe con certeza por la falta de testimonios arqueológicos. Y no porque éstos no existan, que seguramente los habría, sino porque no se han buscado de manera sistemática como ha ocurrido en el Pirineo Navarro, en el Catalán y en el Francés. Otro tanto puede decirse de las etapas protohistóricas (período intermedio entre la prehistoria y la historia propiamente dicha), aunque en este caso la toponimia y ciertas alusiones documentales permiten creer que en estos parajes se asentaron los ilérgetes, que tendrían su núcleo habitado principal en Vescelia, posible antecesora de Benasque, que posteriormente sería romanizada, época de la que ya se conocen algunos vestigios materiales (la mayoría de los viejos puentes sobre el Ésera se reconstruyeron sobre cimientos romanos).

Del posible paso de los visigodos queda algún vestigio en la toponimia como el “Coll de Toro” que parece derivar del Collado de Gothorum (Collado de los Godos).

Los invasores musulmanes no llegaron a penetrar en el valle, como en ningún otro de los altos valles del Pirineo Central. En cambio, sirvieron de refugio para algunas gentes huidas del llano (*Juste Moles, 1990*).

En la siguiente tabla se observa la dinámica evolutiva que ha sufrido la población de Benasque. Dicho documento está fechados en el 1859. No se pretende ni mucho menos hacer una detallada evolución o estudio de la diferencia evolutiva de Benasque. Simplemente se trata de relacionar habitantes y años mediante los censos recogidos de forma no periódica.

Al tener que cifrar los fuegos habrá que tener en cuenta que cada fuego representa un promedio de cuatro o cinco personas, aunque es algo relativo el baremo.

Los censos demográficos de los habitantes del valle descendían hasta los años 50-60 del pasado siglo. En los últimos 30 años, por el contrario, ha duplicado sus efectivos demográficos (1489 habitantes en el año 2000) y 2195 habitantes en el último censo del año 2013.

AÑO	FUEGOS O HABITANTES	AÑO	FUEGOS O HABITANTES
1381	72 fuegos (con aldeas)	1857	1408 habitantes
1385	118 fuegos (con aldeas)	1859	348 casas (con aldeas)
1495	46 fuegos (benasque)	1873	1662 habit. con 263 viviendas, 53 caseríos y 1 albergue
1543	56 fuegos (con Cerler)	1886	1750 habitantes
1590	6 vecinos Anciles, 10 vecinos Cerler y 15 vecinos Eriste	1893	1500 habitantes
1598	84 vecinos	1897	1447 habitantes
1609	56 fuegos	1900	1364 habitantes
1650	87 vecinos	1921	1500 habitantes
1692	72 fuegos (colecta 35 Libras)	1924	1050 habitantes
1713	80 vecinos (con aldeas)	1929	1019 habit. (322 edificios)
1774	167 casas	1930	1046 habitantes
1785	71 casas	1931	315 casas
1787	84 vecinos	1950	915 habitantes
1848	200 casas, de las que 67 se hallan distribuidas entre barrios y aldeas	1957	637 habitantes
		1960	906 habitantes
		1970	574 habitantes
		1975	637 habitantes

Tabla1: Documento extraído del libro Historia de Benasque (Juste Moles, 1990).

2.2.2 Características económicas

Como en el resto de los valles pirenaicos, durante siglos o milenios, y hasta hace bien poco, la economía del valle de Benasque era esencialmente ganadera y forestal, y sólo en pequeña medida, por no permitir más el terreno, agrícola.

En los últimos tiempos, como ya se ha insinuado, ha sufrido un cambio radical, pasando a fundamentarse en el turismo y evolucionando del sector primario al terciario o de los servicios, habiendo quedado regelada la ganadería a un muy segundo plano, lo que ha provocado una fuerte emigración, sobre todo en los núcleos más pequeños, acompañada de inmigración de otras procedencias regionales.

La actividad turística, que durante bastantes años se concentró en los meses veraniegos, se ha ampliado a los invernales con motivo de la creación de la estación de esquí de Cerler, en las faldas del pico homónimo, Gallinero y Cibollés. Ciertos proyectos especulativos vinculados con la construcción de pistas es esquí internacionalmente competitivas rondan por los Ayuntamientos pero de momento no se ha acabado de aprobar ningún proyecto.

La capacidad de atracción turística del valle debido a sus recursos y atractivos turísticos es la base para potencializar el desarrollo de la economía del valle, que debería ser más armónico, equilibrado y sostenible. (*Juste Moles, 1990*).

Benasque es el núcleo principal de una sociedad de montaña tradicionalmente agrícola y ganadera que a partir de los años 60 del pasado siglo ha visto terciarizarse su economía: el 73% de la población activa trabaja en el sector servicios, frente a un 5% que lo hace en el sector primario.

2.2.3 Infraestructuras

En cuanto a las infraestructuras viarias cabe destacar la carretera que accede al valle, la A-139 que fue construida a principios de siglo i es la zona en la que se centra el estudio vinculado con el movimiento de laderas.

Dicha carretera es la columna vertebral del Valle ya que une las poblaciones más importantes y que recogen un número más elevado de habitantes. Hay otras carreteras pero éstas pasan a un plano secundario ya que durante el año no son tan frecuentadas como la A-139.

La parte final de la carretera, parte que se ve afectada frecuentemente por los sucesos vinculados con el riesgo geológico, durante el verano suele estar muy frecuentada por vehículos, ciclistas, excursionistas, etc debido al Parque Natural de Posets Maladeta y al Hotel Hospital de Benasque que generan mucha expectación.

Durante el invierno suele estar frecuentada por esquiadores que acceden a las pistas de esquí de fondo del Hospital de Benasque y por alpinistas que acceden para llegar a las cumbres, ya que es la única carretera existente. Es en el tramo final donde ésta se vuelve más vulnerable ya que la orografía de la zona juntamente con las condiciones climáticas propician los sucesos naturales que producen cortes en la carretera.

Hay otro tipo de infraestructuras vinculadas con la generación de electricidad (centrales hidroeléctricas), poblaciones, granjas, etc. El trabajo no centrará atención en todas aquellas infraestructuras del valle que no entren dentro de la zona concreta de estudio.

La infraestructura analizada durante el trabajo será la vinculada con la carretera A-139, concretamente a partir del kilómetro 66 de ésta ya que se presenta como el factor más vulnerable al riesgo en la zona de estudio.



Foto 4: Foto aérea (2014) cedida por la Fundación Llanos del Hospital. Carretera A-139 cortada por aludes en la canal de Senarta 1 y Senarta 2.



Foto 5: Foto alud Senarta 2 (2014) cedida por la Fundación Llanos del Hospital.

3.El riesgo natural de los procesos gravitacionales.

3.1 Definición de riesgo

El riesgo natural es la probabilidad de que en un territorio y la sociedad que habita en ella, se vean afectados por episodios naturales de rango extraordinario. Su origen no viene dado de la mano del hombre pero la presencia de éste incrementa el valor del riesgo.

Teniendo en cuenta que en la definición anteriormente comentada la variable humana y la variable natural están interrelacionadas, podemos definir el riesgo natural como:

Riesgo natural = Peligrosidad x Vulnerabilidad

La peligrosidad hace referencia a que un determinado fenómeno natural con consecuencias negativas se produzca en una determinada zona. Esta variable corresponde a todos aquellos factores naturales que intervienen en el riesgo y que son potencialmente peligrosos.

La segunda variable, la vulnerabilidad, se refiere a todos aquellos factores de la sociedad que están expuestos a recibir directamente el daño del fenómeno natural con consecuencias negativas. Un ejemplo de factores que entran dentro de la variable de vulnerabilidad serían: casas, infraestructuras viarias, redes eléctricas, etc.

Los daños producidos por los riesgos naturales se suelen clasificar en daños directos e indirectos. Los primeros engloban todas aquellas variables que se ven afectadas directamente por el riesgo, es decir, que reciben el daño directamente. Éstos pueden ser:

personas, poblaciones, agricultura, infraestructuras, etc. Los daños indirectos son aquellos derivados de las consecuencias o efectos del daño directo, como por ejemplo: la interrupción de obras, la bajada del turismo debido a la consecuencia del riesgo ocurrido con anterioridad, etc.

Para que estos daños no sucedan o tengan un impacto menor generalmente se realiza un plan de predicción en el cual se pretende localizar de forma anticipada y en términos de probabilidad estadística dónde, cuándo y con qué intensidad va a ocurrir un determinado riesgo. Éste análisis preventivo se basa en la experiencia (acontecimientos pasados) y en el estudio de la zona peligrosa juntamente con la vulnerable.

Finalmente, se realiza un plan de prevención y corrección en el que se toman las medidas de mitigación adecuadas. Éstas pueden ser estructurales (afectan al tipo de construcciones o a sus estructuras) y no estructurales (van ligadas a la planificación territorial y a la ordenación del territorio).

La representación de los riesgos naturales se hace mediante la cartografía. En dicha cartografía se representa: la peligrosidad, la vulnerabilidad y, como resultado final, el riesgo. En este trabajo se presentará una cartografía general de los desprendimientos y deslizamientos resultantes en la zona de estudio.

Las variables que facilitan la génesis del riesgo o que tienen más importancia en la intervención en éste son las que determinarán su tipología.

Los riesgos naturales, habitualmente, se clasifican en los siguientes tipos:

1. Meteorológicos o climáticos
2. Geofísicos o Geológicos
3. Biológicos
4. Antropogénicos
5. Mixtos

El riesgo del que trata este estudio, el vinculado con los movimientos gravitacionales, es una combinación entre procesos meteorológicos y geológicos, es decir, una interacción de procesos vinculados con las condiciones atmosféricas y la geología del terreno. Dichos movimientos gravitacionales no podrían suceder si las condiciones meteorológicas no lo permitiesen o no hubiesen sido favorables para la producción de éste y lo mismo con los elementos geológicos que lo componen. De todos modos se ha de diferenciar entre las causas meteorológicas (exógenas) y las causas geológicas (endógenas). Las primeras son externas a la estructura (zona) en la que se sitúa el riesgo natural y las segundas son la base de dicha estructura.

3.2. Los movimientos gravitacionales

En la superficie del terreno se pueden encontrar diferentes tipos de laderas. Muchas son empinadas y escarpadas, otras son largas y graduales, moderadas o suaves, etc. Además, pueden estar cubiertas de vegetación y un manto de suelo o simplemente pueden ser escombros y/o rocas. En conjunto, las laderas suelen ser un rasgo común y habitual en nuestro paisaje.

Como es bien conocido, las laderas tienen un peligro enorme asociado. Algunas laderas pueden parecer estables, pero es el factor gravitacional el que interviene para producir un desplazamiento de sus materiales hacia abajo.

Los deslizamientos de tierras son un peligro natural en todo el mundo. Cuando estos procesos peligrosos llevan a la pérdida de vidas y propiedades, se convierten en desastres naturales. (Tarbuck, 1999).

Estos procesos gravitacionales se entienden como los movimientos que se producen bajo la influencia de la gravedad y de la pendiente debajo de: rocas, suelo y regolitos. Se diferencian de los procesos erosivos, ya que éstos no precisan un medio de transporte como el agua, el viento o el hielo de los glaciares. Es importante remarcar que estos factores facilitan la posibilidad del proceso gravitacional. No es un factor totalmente necesario para la producción del fenómeno, pero sí que aumenta la facilidad para que éste se produzca. Durante el trabajo se verá cómo los factores exógenos a la ladera (vegetación, agua, etc) aumentan la probabilidad del suceso.

La formación de estos fenómenos es debida a un proceso erosivo (meteorización) en el cual la roca es disgregada y debilitada. Una vez que la meteorización ha debilitado la roca, los procesos gravitacionales transfieren los derrubios pendiente abajo, donde una corriente (agente transportador) los desplaza.

Los efectos combinados de los procesos gravitacionales junto con las aguas de escorrentía, las aguas superficiales, el manto nival, la vegetación, etc. producen los diferentes modelados del paisaje.

Los procesos gravitacionales más espectaculares y rápidos tienen lugar en zonas de alta montaña y geológicamente jóvenes. El hecho de que sean jóvenes facilita la erosión fluvial y glacial y esto permite que el paisaje, una vez erosionado, sea fuertemente escarpado. Por tanto, a medida que el paisaje envejece, las pendientes disminuyen y en consecuencia, los procesos gravitacionales.

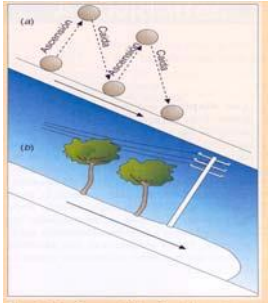
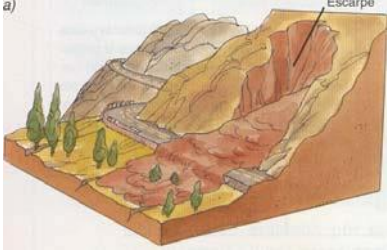
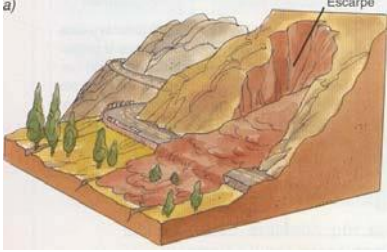
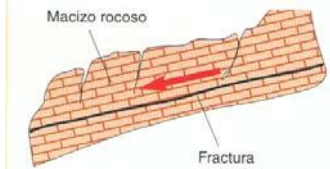
Las diferentes clasificaciones de los procesos gravitacionales van ligadas al tipo de material y al tipo de movimiento que caracteriza a cada uno.

La clasificación de los procesos gravitacionales en función del material implicado en el movimiento depende de si la masa descendiente empezó como un material no consolidado o como sustrato de roca. Si el suelo y el regolito son dominantes se hablará de derrubios. Por el contrario, cuando se desplaza pendiente abajo una masa rocosa, el término roca será parte de la descripción.

Además de caracterizar el tipo de material implicado en un acontecimiento del movimiento de masa, también puede ser importante cómo se mueve el material. En general, la clase de movimientos se describe como desprendimientos y deslizamiento o flujo.

A continuación se presenta una tabla donde aparecen los diferentes tipos de movimientos de las laderas. En nuestro estudio en cuestión nos centraremos únicamente en los movimientos de laderas vinculados con los deslizamientos, los desprendimientos y las aludes. Estas últimas irán encajadas en el marco de los deslizamientos como se podrá observar en el siguiente apartado (3.2.1).

A.2.- TIPOS DE MOVIMIENTOS DE LADERAS

<p>REPTACIÓN O CREEP</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Es lento y continuo - Afecta a la capa más superficial. - Es el resultado de dos movimientos: Expansión por hidratación y retracción por deshidratación. - Produce arqueamiento de los árboles, inclinación de vallas y postes y convexidad en la parte inferior de las vertientes por 	
<p>COLADAS DE BARRO</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales blandos embebidos en agua que se desplazan a favor de la pendiente. - Es un flujo continuo y rápido. 	
<p>SOLIFLUXIÓN</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Similar a las coladas de barro pero más lento. - Es característico de los dominios periglaciares en donde el suelo superior se deshíela (mollisuelo) y se desplaza sobre el 	
<p>DESLIZAMIENTOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden ser lentos o catastróficos. - Se produce cuando tenemos unas rocas sueltas sobre una superficie inferior rígida. Actúan tres tipos de fuerzas: Gravedad (g); Rozamiento (R) y Cizalla <p>DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rotura paralela a la superficie. - Se produce por varios motivos: <ul style="list-style-type: none"> - Roca firme que se asienta sobre otra menos firme, como por ejemplo suelo arcilloso. - Roca meteorizada sobre suelo firme. <p>DESLIZAMIENTO ROTACIONAL O SLUMP.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Deslizamiento a favor de una superficie de rotura curva. <p>Es típico de suelos pegajosos: arcillosos o</p>	

<p>DESPRENDIMIENTOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> .- Caída de fragmentos de un talud. .- Puede tratarse de: <ul style="list-style-type: none"> - Caída libre. - Rodadura. - Vuelco. 	
<p>AVALANCHAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> .- Movimiento rápido. .- Desprendimiento de fragmentos sueltos acumulados. .- Caída por efecto de saturación, de ondas sonoras, viento... 	
<p>ALUDES</p>	<ul style="list-style-type: none"> .- Movimiento rápido. .- Son avalanchas de nieve. .- Se producen por cambio de temperaturas, saturación, viento, insolación, ondas sonoras. .- Pueden ser: <ul style="list-style-type: none"> - Aludes de nieve reciente. 	

Tabla 1: elaboración propia a partir de datos extraídos de la ULPGC (Universidad Las Palmas de Gran Canaria)

3.2.1 Controles y desencadenantes de los flujos de derrubio o deslizamientos (debris flow).

Los flujos de derrubio se refieren a aquellos movimientos de masas de suelo o roca que se desplazan pendiente abajo siguiendo una superficie de ruptura con la que el material desplazado siempre está en contacto. Su velocidad puede ser variable, aunque generalmente es rápida y el volumen involucrado bastante elevado.

En este apartado se hablará de todos aquellos factores condicionantes y desencadenantes de los posibles deslizamientos, en este caso de los debris flow y los aludes.

Los condicionantes hacen referencia a las características propias de la ladera que la hacen susceptible a experimentar fenómenos de inestabilidad. Los principales son la litología, la estructura y la vegetación. Sin embargo, los factores desencadenantes son agentes externos, naturales o antrópicos, que provocan el inicio del movimiento en la ladera en un momento determinado. Los principales son: terremotos, precipitación, los ciclos de hielo y deshielo, la rápida fusión del manto nival y algunas acciones antrópicas como la deforestación, excavaciones, embalses, etc. De este modo, los factores desencadenantes determinan, mayoritariamente, el momento y la magnitud de los movimientos, mientras que los agentes condicionantes influirán en los mecanismos de rotura y sus diferentes tipologías.

Desencadenantes:

a) Papel del agua (precipitación).

A menudo, las fuertes lluvias en episodios concretos son el factor desencadenante de un proceso gravitacional. Dicho fenómeno es el más recurrente en la formación de procesos gravitacionales en España. La explicación de éste fenómeno es la siguiente:

Cuando los poros del sedimento se llenan de agua, se destruye la cohesión entre las partículas, permitiendo que se deslicen unas sobre otras con relativa facilidad. Es este el motivo por el cual cuando los granos de arena están húmedos da la sensación de que puedan juntarse entre ellos. Sin embargo, cuando los granos de arena reciben demasiada cantidad de agua (más de la que pueden absorber) se producirá una saturación que reducirá la resistencia anteriormente comentada. Estos materiales saturados son puestos en movimiento debido a la fuerza de la gravedad, a la inclinación del pendiente y sobretodo, al agente transportador, el agua. *(Tarbuck, 1999)*.

En el Pirineo suelen producirse diferentes episodios de precipitaciones que pueden actuar como desencadenantes de los movimientos de ladera. Estos episodios son: a) lluvias de gran intensidad en un período de tiempo corto que provocan deslizamientos superficiales, corrientes de derrubios y desprendimientos de manera generalizada, b) episodios lluviosos de duración moderada prolongados durante días o semanas que dan lugar a reactivaciones rotacionales, coladas de barro, etc. c) episodios estacionales que dan lugar a la reactivación de los deslizamientos.

b) Papel de la nieve (hielo-deshielo)

La nieve también tiene un papel desencadenante de los procesos gravitacionales, ya que una gran acumulación de nieve que desemboque en un alud permitirá una avalancha de toda la masa nival juntamente con el manto litológico (rocas) de la pendiente arrasando con todo aquello que se encuentre por delante.

Los mantos nivales están formados por diversas capas estratificadas, fruto de las diferentes nevadas. Estos mantos pueden originar diferentes aludes, los más comunes son: las de nieve reciente y las de fusión.

Los primeros son aquellos que se producen al poco tiempo de haberse originado una intensa nevada y suelen darse en la época más fría del invierno. El desencadenamiento de un alud de nieve reciente se produce debido a una pérdida de cohesión de la capa superficial, ya sea por sobrecarga o por un aumento de la temperatura durante o poco después de la nevada.

En los segundos el origen radica en la fusión del manto nival cuando la temperatura del aire supera claramente los 0°C o en caso de lluvia.

Tanto los primeros como los segundos pueden verse involucrados en la interacción con el manto litológico y consecuentemente con el arrastre de todo aquello que lo compone (rocas, árboles, arbustos, etc).

La siguiente foto es un claro ejemplo de la avalancha producida por un aumento de la temperatura y una acumulación de nieve húmeda en la zona de estudio el pasado mes de enero de 2014. La foto está tomada desde un ultra-ligero ese mismo día.



Fotos 6 y 7: Alud el 26 de enero de 2014 en la zona de estudio.

c) *Terremotos*

A veces, es necesario un factor adicional para el desencadenamiento de un movimiento. Entre los desencadenantes más espectaculares e importantes están a los terremotos.

Un terremoto y sus réplicas pueden llegar a movilizar volúmenes inimaginables de roca y, sobretodo, de material no consolidado. Un claro ejemplo es el ocurrido el 31 de mayo de 1970 en Yungay (Perú), donde un terremoto enterró a más de 20.000 personas. La avalancha se originó a unos 14 Km de Yungay, cerca de la cima del Nevado Huascarán (6.700 m), el pico más elevado de los Andes peruanos. En la siguiente fotografía podemos observar el devastador panorama que dejó el terremoto en el valle peruano.

d) *¿Deslizamientos sin desencadenantes?*

Los procesos gravitacionales no siempre requieren de algún tipo de desencadenante.

Muchos procesos gravitacionales rápidos ocurren sin un desencadenante apreciable. Los materiales de la pendiente se debilitan de manera gradual mediante la influencia de la meteorización a largo plazo, la infiltración del agua y otros procesos físicos.

Finalmente, si la resistencia es inferior al nivel mínimo de estabilidad que necesita la pendiente, se producirá un deslizamiento.

Cuando estos movimientos no tienen desencadenante el ritmo suele ser aleatorio y por tanto, es imposible predecirlos.

Condicionantes

a) *La estructura*

La morfología de la ladera es el factor más condicionante en los episodios vinculados con los movimientos en masa. Los lugares montañosos con pendientes fuertes son los que con mayor facilidad sufren movimientos gravitacionales, aunque en ocasiones pendientes de muy pocos grados son suficientes para originarlos si la roca está muy suelta o hay mucha agua en el subsuelo.

Generalmente, el exceso de pendiente aparte de producir o desencadenar movimientos de ladera, también crea pendientes inestables que, a su vez, producen movimientos.

Las partículas granulares no consolidadas adoptan una posición estable en la pendiente denominada “ángulo de reposo”. Éste es el ángulo más empinado en el cual puede reposar o establecerse dicha partícula granular. Dicho ángulo suele oscilar entre los 25 y 40 grados dependiendo de la granulometría de las partículas.

Las partículas granulares más grandes se mantienen en las pendientes más empinadas, mientras que las más pequeñas se mantienen en las pendientes menos empinadas. De este modo, si el ángulo aumenta los derrubios de roca se ajustarán desplazándose pendiente abajo. *(Tarbuck, 1999)*.

En este caso, pendientes superiores al 15% ya empiezan a ser favorables para la generación de estos episodios naturales y a partir del 40% es cuando ya son peligrosas en función de las características anterior y seguidamente explicadas.

b) La vegetación

La vegetación protege el sustrato contra la erosión y contribuye a la estabilidad de las pendientes mediante la unión del suelo y el regolito que producen sus sistemas radiculares. Además, las plantas también protegen los suelos de la lluvia, ya que el agua primeramente impacta en la planta y no permite la caída de tanta cantidad de agua en el sustrato edáfico.

En los lugares donde no hay vegetación se potencian los procesos gravitacionales, sobretodo, si se trata de pendientes empinadas donde el agua suele ser abundante. Generalmente, la vegetación pierde territorio en estos lugares debido a los incendios o a la deforestación y es en este momento cuando los materiales en superficie suelen desplazarse pendiente abajo.

Un ejemplo que ilustraría claramente el efecto fijador de las plantas se produjo hace unas décadas en Menton (Francia) cuando los agricultores de la zona decidieron cambiar las plantaciones de olivos que había (fuertes raíces) por unas más económicas de raíces más superficiales, los claveles. El sustrato edáfico y el regolito perdió cohesión con la fijación de las raíces de los olivos y desencadenó un desplome de rocas que se cobró once vidas.

c) La litología

La litología hace referencia a los materiales que forman el sustrato. Según la composición mineralógica de cada material será más o menos susceptible a la hora de mantenerse fijo en el sustrato o caer. El hecho de que la roca permeabilice el agua o no aumentará o disminuirá la dinámica gravitacional.

La falta de cohesión entre los materiales que forman la ladera es un factor desfavorable ya que aumenta la probabilidad de que el fenómeno suceda.

3.2.2 Controles y desencadenantes de los desprendimientos (rock falls).

Los desprendimientos son un fenómeno recurrente en la zona de estudio.

Un desprendimiento refiere a la caída libre de material que se desprende de una zona. Estas caídas implican una ruptura y un movimiento de la roca o del suelo sin seguir una superficie de deslizamiento determinada.

Suelen ser especialmente frecuentes en áreas montañosas con climas fríos, constituyendo uno de los procesos modeladores del relieve más importantes y característicos de las laderas.

Desencadenantes

a) La gelifracción

En ambientes periglaciares (como es en el caso de la zona de estudio), ambientes en los que el agua mediante la congelación modela el paisaje, los desprendimientos se producen durante todo el año aunque su momento álgido suele ser la primavera, ya que es la época del año en que hay más humedad y los ciclos de hielo y deshielo son más numerosos.

La estancación de agua en las grietas de la roca al congelarse produce una variación de volumen y consecuentemente una expansión y una contracción que acaba provocando la separación y, posteriormente, el desprendimiento de bloques. A este fenómeno se le conoce con el nombre de gelifracción y es considerada (excluyendo a los terremotos) como la causa principal de los desprendimientos en zonas de alta montaña.

b) Papel del agua en estado líquido

El agua en estado líquido juega un papel importante en la producción de desprendimientos (rock falls) gracias a la erosión que origina al infiltrarse por las diaclasas y al debilitamiento que produce en las rocas dúctiles, como por ejemplo, las pizarras.

Estas rocas dúctiles, al empaparse se vuelven muy resbaladizas y esto trae como resultado una fricción estática que favorece al movimiento de los bloques suprayacentes.

c) La vegetación

Otro factor importante que actúa como desencadenante de desprendimientos es la vegetación.

En este caso, a diferencia del anterior (3.2.1) la vegetación no favorece la estabilidad de la ladera ya que el crecimiento de las raíces hace de factor desencadenante del movimiento gravitacional (desprendimiento).

Mediante factores externos como el fuerte viento, rayos, terremotos, etc favorecen al movimiento de las raíces en forma de palanca y éstas rompen con la cohesión entre el sustrato y la vegetación desencadenando un movimiento de caída libre.

d) Los incendios

Los incendios pueden llegar a provocar desprendimientos, pero en menor medida que los anteriores factores.

Un ejemplo fue el ocurrido en Gua Musang (Malasia) el 19 de Marzo de 2005 en el que un incendio provocado por una colilla desencadenó una serie de desprendimientos de rocas producidos por la quema de las raíces de los árboles que mantenían unidos los bloques de rocas.

e) La actividad antrópica

La actividad antrópica suele provocar o favorecer este fenómeno. Por ejemplo mediante excavaciones para la construcción de carreteras o edificios, vibraciones debidas al paso de vehículos o a efectos sonoros, sobrecargas y cambios del nivel freático.

Condicionantes

a) Estructura

Al igual que la estructura condicionante del punto 3.2.1 en este caso también encontramos una fuerte importancia en la morfología de la ladera ya que el tanto por ciento de pendiente que tenga será el factor más condicionante para el desencadenamiento del suceso natural.

En el caso del rock fall, cabe decir que no es de difícil desencadenamiento y que una pequeña pendiente (7%) podría ser la precursora del inicio de éste. De todos modos, la pendiente es la base del riesgo pero son los factores desencadenantes los que acabarán decidiendo el movimiento del material. Un ejemplo sería el siguiente: imaginemos que estamos sobre una pendiente del 3-4%, bastante insignificante, y empieza a llover. El agua que discurre por la pendiente podrá generar la caída de alguna roca que no tenga cohesión con el sustrato. De este modo se originaría un rock fall (desprendimiento) ya que el movimiento del material sería unitario, a diferencia de los debris flow.

Superponiendo este ejemplo a una pendiente del 40% es obvio que casi no se necesitaría la lluvia como agente desencadenante ya que con el paso del tiempo y mediante gelifración o algún tipo de erosión el material acabaría cayendo por si solo.

Así pues, el grado de pendiente, la orientación, la rugosidad y la presencia de vegetación determinarán la estabilidad de una vertiente. Los terrenos más pronunciados tienen mayor propensión a sufrir diferentes tipos de inestabilidades.

b) La litología

La litología vuelve, al igual que en el anterior caso, a ser un factor condicionante del desprendimiento.

Hay determinados tipos de rocas o suelos que tienen mayor o menor resistencia a estar involucrados en movimientos. Algunos ejemplos: la disolución de las rocas a causa de la circulación de agua a través de las grietas puede favorecer su disolución y la creación de vacíos cada vez más grandes que contribuirán a su colapso, ya que la capacidad de la roca para soportar el material que tiene encima va disminuyendo. Otro casos serían: la presencia de arcillas expansivas, la relación de los tamaños de grano de las partículas (limo-arcilla), la solubilidad de algunas rocas, como los yesos, las sales o las calizas, etc.

c) La vegetación

Mirar punto 3.2.1 apartado *Desencadenantes* punto b).

4. Análisis de los procesos gravitacionales en el área de estudio.

Teniendo en cuenta el contexto geográfico del Valle de Benasque y la teoría explicada anteriormente en relación a los movimientos de ladera ha podido deducirse que en esta zona de alta montaña del norte de la Península Ibérica dichos sucesos son bastante recurrentes.

En este apartado se pondrá en contexto los antecedentes históricos del riesgo natural en el área de estudio juntamente con toda la teoría explicada en los puntos anteriores con el objetivo de analizar estrictamente la zona y las supuestas peligrosidades que ésta presenta.

Este análisis se basará en los datos recogidos en el trabajo de campo junto con una utilización de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para de este modo concretar las áreas interesantes para nuestro estudio de manera visual.

Primeramente se dividirá el área de estudio en unidades paisajísticas (4.2.1). Estas unidades recogerán los factores estructurales y condicionantes de la zona de interés. Una vez finalizadas estas clasificaciones se crearán unos cuadros atributivos para las zonas vinculadas con los deslizamientos en los que se recogerán los valores de los factores condicionantes (4.2.1) y se relacionarán entre sí.

Se procederá al cálculo mediante una fórmula, donde más adelante (4.2.2) podrá observarse, la peligrosidad, la vulnerabilidad y, finalmente, el riesgo.

4.1 Antecedentes históricos del riesgo natural en el área de estudio.

En esta zona del Alto Aragón, las avalanchas (aludes) junto con los desprendimientos y deslizamientos son bastante frecuentes como ya se ha comentado. Seguidamente podremos observar una serie de sucesos que han pasado desde principios del siglo XX hasta la actualidad.

El riesgo de avalanchas es importante en el alto valle de Benasque. Destacan las referencias históricas de las destrucciones del Hospital de Benasque (1935).

La carretera A-139, por encima de Benasque, tramo construido a finales de 1970 suele cortarse periódicamente por aludes que, en algún caso, casi han llegado al mes de duración.

En la siguiente tabla podemos observar algunos de los episodios vinculados, en este caso, con las avalanchas (aludes) que ha habido en el Valle de Benasque desde 1978 hasta 2003.

<i>Fecha</i>	<i>Lugar</i>	<i>Ilesos</i>	<i>Muertos</i>	<i>Heridos</i>
16/04/1978	Aneto	3	0	0
20/05/1984	Aneto	7	1	0
09/03/1985	Cregüeña	2	0	1
19/04/1987	Gías	4	1	0
01/04/1988	Llardana	2	0	2
08/04/1990	Maladeta	0	0	1
11/03/1991	Paderna	0	9	1
11/04/1998	Cibollés	10	0	1
21/05/2000	Salvaguardia	0	1	0
21/02/2003	Gallinero	1	0	0

Tabla 2: Episodios de aludes en el Valle de Benasque. Elaboración propia a partir de datos recogidos en el trabajo de campo.

En este caso, únicamente quedan reflejadas las avalanchas que se han producido en las cumbres de las montañas o cerca de ellas. De todos modos es un buen ejemplo para observar la cantidad de aludes con consecuencias que han producido en el valle a lo largo de los años.

Gracias a la Fundación del Hospital de Benasque y al Cuerpo de Bomberos de Aragón se ha podido recopilar información concreta de las últimas avalanchas que han habido en la zona desde 1998 hasta la actualidad (2014). Seguidamente, se comentará los diferentes episodios de deslizamientos y desprendimientos que ha habido concretamente en el área de estudio en los últimos 15 años:

<i>Año</i>	<i>Corte Carretera</i>	<i>Duración</i>	<i>Observaciones</i>	<i>Tipología</i>
1998	Si	-		
2000	Si	-	Caída de bloques	Desprendimientos
2003	Si	-	Caída de bloques	Desprendimientos
2009	Si	-		
2010	Si	-	Personas aisladas	Deslizamientos (alud)

2012	Si	-	Personas aisladas	Deslizamientos (alud)
2013	Si	3 días	Fuertes inundaciones	Deslizamientos
2014	Si	3 días	240 personas aisladas	Deslizamientos

Tabla 3: Episodios de deslizamientos y desprendimientos en la zona de estudio. Elaboración propia a partir de datos recogidos en el trabajo de campo.

En cuanto a los desprendimientos ,aunque se ha cortado la circulación varias veces no tienen tanta importancia como los deslizamientos ya que son puntuales y no tienen la misma magnitud.

Un ejemplo de los efectos producidos por los desprendimientos se ve reflejado en la siguiente fotografía tomada correspondiente al tramo final de la carretera A-139.

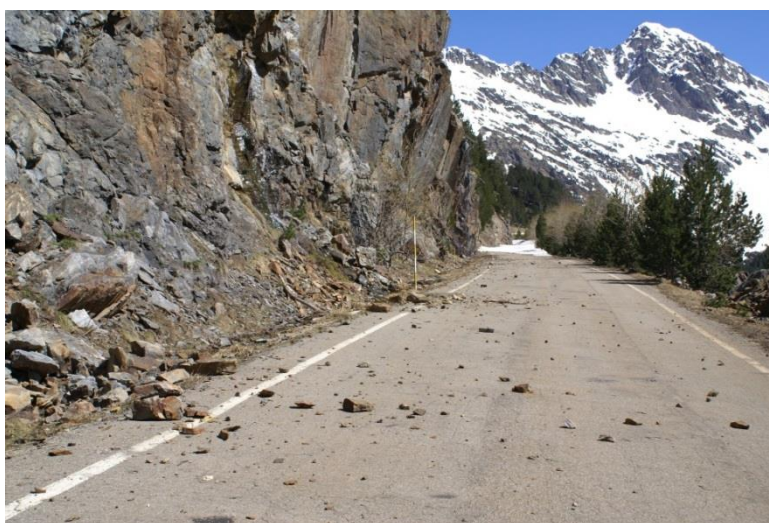


Foto 8: Elaboración propia. Tramo final carretera A-139

En este caso se puede observar la pequeña magnitud del desprendimiento pero ejemplifica el desastre que ocurriría si hubieran caído bloques más grandes.

4.2 Características de la zona de estudio

4.2.1 Unidades Paisajísticas (Factores condicionantes)

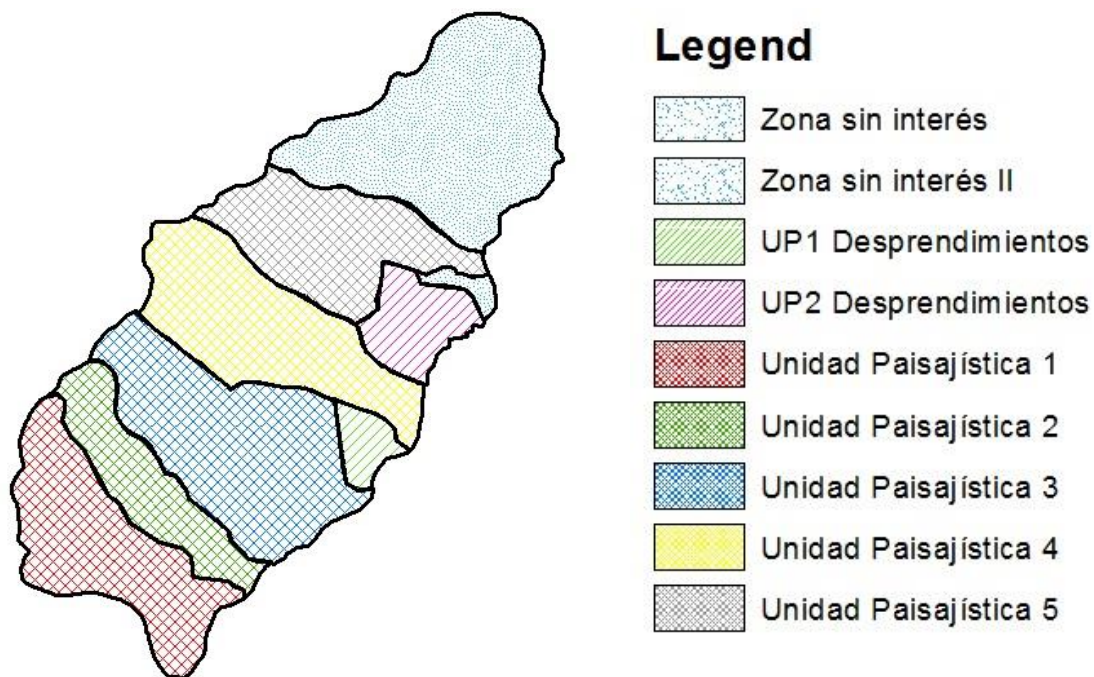
En este apartado, una vez recogida la información, se elaborarán una serie de fichas de campo en las que se recogerán los factores condicionantes que influyen en cualquiera de los aspectos vinculados con la peligrosidad, la vulnerabilidad y el propio riesgo resultante. Debido a que los factores desencadenantes no son permanentes en la zona de estudio no serán expuestos en el análisis ya que una introducción de éstos generaría un aumento exponencial del riesgo. De este modo, para poder realizar el estudio vinculado con la zonificación de las zonas más peligrosas y vulnerables del área de estudio mediante los factores condicionantes ya hay suficiente.

Llevando a cabo una clasificación de las diferentes zonas de estudio, que seguidamente podrán observar, se analizarán todas aquellas variables (geología, vegetación, pendiente, presencia de agua, etc) que intervengan en la dinámica y los movimientos de ladera.

La clasificación se ha establecido en dos bloques: el primero se refiere a los deslizamientos/aludes y el segundo a los desprendimientos. Se ha hecho de esta manera para evitar la mezcla de conceptos y de dinámicas de laderas.

A pesar de la diversificación de factores que determinan las dinámicas de laderas, en este apartado se analizarán únicamente los condicionantes, ya que son los que están de forma permanente. De este modo se podrá marcar un valor a cada canal en función de sus características condicionantes y se procederá al cálculo mediante una tabla donde se representarán los atributos (4.2.2) anteriormente analizados (factores condicionantes). Posteriormente, y ya en el apartado (4.3), se elaborará una cartografía resultante de las diferentes áreas de estudio divididas en unidades paisajísticas. Estas unidades paisajísticas sumadas a la información recogida en las fichas de campo mediante la ayuda de unos cuadros atributivos (4.2.2), han servido para realizar los definitivos mapas de riesgos.

En el mapa que se muestra a continuación se puede observar la clasificación que se ha llevado a cabo para dividir las diferentes áreas de interés dentro de la zona de estudio.



Mapa 1: Delimitación de las diferentes Unidades Paisajísticas de la zona de estudio. Elaboración propia.

Los criterios que se han llevado a cabo para la división paisajística se han basado en un trabajo de campo mediante el cual se ha conseguido una geolocalización de las diferentes canales que discurren en la ladera y de los fenómenos vinculados con los desprendimientos. En el apartado siguiente se explican dichos criterios.

Primeramente se presentará una ficha por cada Unidad Paisajística en la que se explicarán las características estructurales de ésta. Se empezará por las Unidades Paisajísticas vinculadas con los deslizamientos (fondo cuadrícula), una vez finalizadas se analizarán las vinculadas con los desprendimientos (fondo punteado).

En relación al resultado final, decir que se mostrará de manera cartográfica. En esta cartografía se representarán unos mapas vinculados con la peligrosidad, la vulnerabilidad y el riesgo de los deslizamientos y donde también se observarán las zonas más propensas a recibir desprendimientos. Éstas últimas han estado geolocalizadas mediante el trabajo de campo y analizadas posteriormente.

• Deslizamientos

La delimitación de las diferentes unidades paisajísticas vinculadas con los deslizamientos se ha llevado a cabo en función de la localización, mediante el trabajo de campo, de una serie de canales importantes que discurren en la ladera (zona de estudio). Las canales que forman cada una de estas unidades han sido tomadas como el carácter más importante que determina la unidad paisajística.

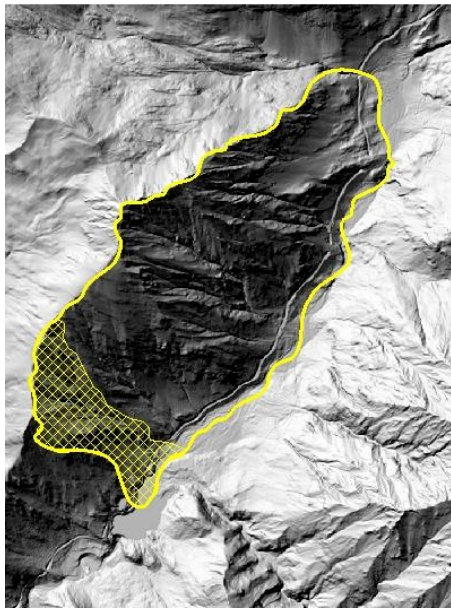
Estas canales han sido localizadas y posteriormente georreferenciadas en un mapa digital. Este método ha sido de gran ayuda para poder visualizarlas en un mapa digital y para la consiguiente delimitación de las unidades.

Se entiende por canal una abertura angosta y alargada formada por la erosión fluvial antigua en terrenos generalmente calizos kársticos y al que, después, el agua llega a abandonar el cauce, dejándolo seco, como sucede en el canal de desagüe de muchos torrentes, en barrancos o en muchas ramblas de corto recorrido. Es una forma menor del relieve.



A lo largo de la clasificación, tanto de las unidades paisajísticas de deslizamientos como en las de desprendimientos se ha utilizado la abreviatura UP para designar el concepto de Unidad Paisajística.

Unidad Paisajística 1.

Canal de Pubilla



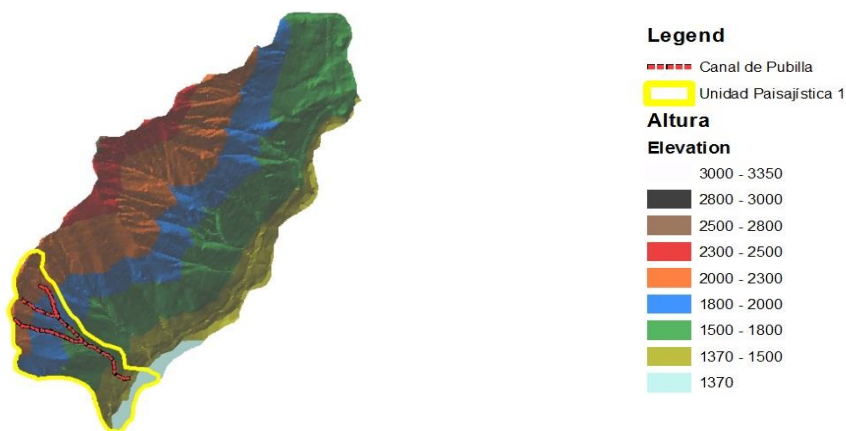
Legend

-  Unidad Paisajística 1
-  Delimitación área estudio

Mapa 2: Área que abarca la UP1. Elaboración propia.

La primera UP abarca un total de $0,6\text{km}^2$. Su orientación es (NW-SE) y su desnivel se aproxima a los 1300 m.

En el margen derecho de dicha unidad, encontramos una serie de canales que a medida que descienden van retroalimentándose entre ellos. La primera retroalimentación de canales se lleva a cabo a 1908 m donde coinciden dos canales formados a 2090 y 2080m de altitud, respectivamente, formando una principal. Seguidamente y a 1700m se juntan la canal principal con una que discurre por el margen izquierdo de la canal principal y que se forma a 2080 m de altitud. Dicha afluencia de canales forman la “Canal de Pubilla”. Esta canal desciende pendiente abajo y finaliza su recorrido en los pies de la ladera, en la carretera A-139.



Mapa 3: Modelo TIN con niveles altitudinales, la delimitación del área UP1 y la canal de Pubilla. Elaboración propia.

En cuanto a los cursos fluviales permanentes no encontramos ninguno en esta UP. Sí que hay cursos torrenciales, el recorrido de los cuales es idéntico al de la canal principal y sus ramificaciones.

A continuación se analizan los diferentes factores condicionantes del área juntamente con sus características principales. En primer lugar se hablará de la pendiente, factor importantísimo en la dinámica de laderas y después de las características litológicas y de vegetación de la UP1.

- Pendiente:



Mapa 4: Mapa de pendientes de la UP1. Elaboración propia.

En este mapa de pendientes se refleja la diferente inclinación de la ladera y sus gradientes expresados en %. Las zonas en blanco refieren a todas aquellas pendientes inferiores al 40% de inclinación.

Como puede observarse, la mayor parte del área de estudio de la UP1 contiene pendientes superiores al 40%. En el margen inferior izquierdo observamos un conjunto de pendientes que forman la masa más notoria de pendientes superiores al 60% (potencialmente muy peligrosas). En este caso no vamos a darle importancia ya que, como se verá más adelante, no tiene riesgo de deslizamiento debido a la falta de pendiente de la parte superior que hay por encima de estas pendientes pronunciadas. Este factor no propiciará la creación de deslizamientos ya que las masas deslizadas desde la zona más alta de la ladera quedaran transportadas y bloqueadas en esa parte de poca inclinación, aproximadamente a 1952 m.

Puede observarse también cómo en las cotas más elevadas se encuentran zonas de poca pendiente. Este factor será importante ya que influirá en la dinámica de laderas debido a la acumulación de nieve que permitirá la poca pendiente en dichas cotas altas.

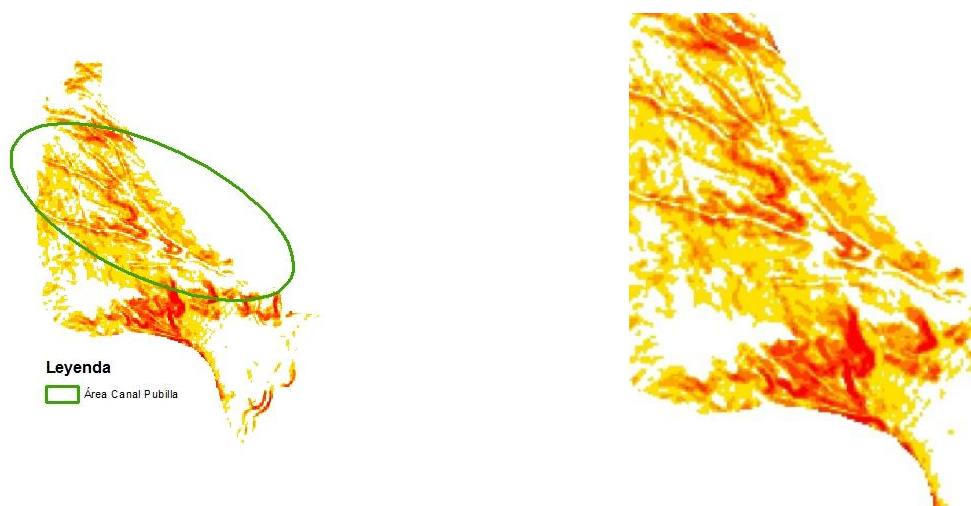
En la siguiente ilustración se representan las áreas comentadas con anterioridad.



Mapa 5: Mapa de pendientes contrastadas de la UP1. Elaboración propia.

El resto de zonas inclinadas de la UP1 se presenta de forma más homogénea ya que no existen tantos contrastes de pendientes en zonas máximas.

En el margen derecho de la UP1 encontramos una serie de pendientes que forman la Canal de Pubilla. En esta zona se puede observar que dichas pendientes vienen alineadas de NW-SE en forma rectilínea desde la parte más alta de la ladera hasta el final lo que produce la formación de una canal compacta. También se observan las diferentes ramificaciones y esta zona sí que será potencialmente peligrosa, ya que canalizará el material deslizado, debido al alto grado de inclinación de la pendiente, depositándolo en el final de la canal y, en consecuencia, de la ladera.

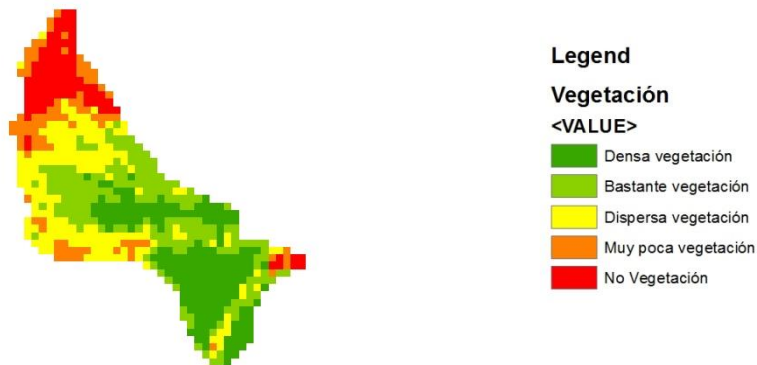


Mapa 6: Área que abarca la Canal de Pubilla (1). Elaboración propia

Mapa 7: Zoom del área abarcada por la canal (2). Elaboración propia

Más adelante se verá la importancia de la alineación de las pendientes, ya que este factor añadido a la vegetación y la litología permitirá el aumento de la peligrosidad del riesgo y, en consecuencia, su materialización.

- Vegetación



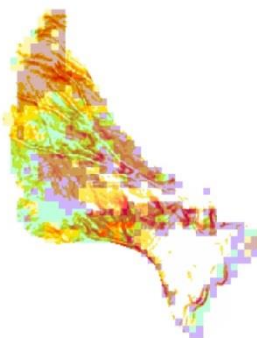
Mapa 8: Mapa de vegetación de la UP1. Elaboración propia.

En el mapa se observa el índice de vegetación. Dicho índice está expresado en tanto por ciento dependiendo de la densidad de vegetación que hay en la ladera. En el caso de la UP1 en la parte inferior y en la parte central superior se encuentra bastante densidad de vegetación a diferencia de las partes más altas i los márgenes izquierdos.

En relación a la importancia de la presencia de vegetación para impedir que desencadenen deslizamientos hay que decir que en el caso de la UP1 está muy presente este hecho, que muestra la capacidad estabilizadora de las pendientes ya que las raíces unen el suelo con el regolito de éste. De este modo se estabilizan las laderas volviéndose compactas y menos vulnerables a la movilización de materiales.

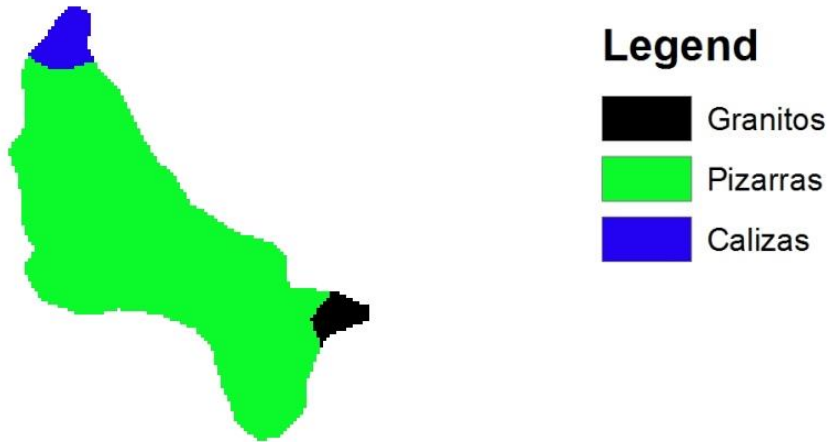
Es importante destacar también la relación directa entre las zonas con poca pendiente y vegetación más densa. Sin embargo, encontramos también zonas en las que hay bastante vegetación y también pendiente, factor que indica la peligrosidad de la rotura del sustrato y el desencadenamiento de movimiento de material vegetal pendiente abajo en forma de deslizamiento.

En general, la vegetación que forma la ladera suelen ser bosques dispersos de pinos negros y abetos, con algunas hayas. Estos árboles, de fuerte enraizamiento permiten la cohesión del sustrato con el regolito. Sin embargo, y como anteriormente se ha comentado, cuando éstos están distribuidos en zonas de fuerte pendiente pueden romper dicha cohesión convirtiéndose en material vulnerable a la caída gravitacional.



Mapa 9: Se observa la superposición de la capa de pendientes con la vegetativa. Zonas azules coinciden con zonas naranjas y rojas de pendiente. Elaboración propia.

- Geología



Mapa 10: Mapa de materiales geológicos de la UP1. Elaboración propia.

Como se observa en el mapa esta zona está compuesta únicamente por tres tipos de litologías: calizas, pizarras y depósitos graníticos, destacando la gran presencia de pizarras.

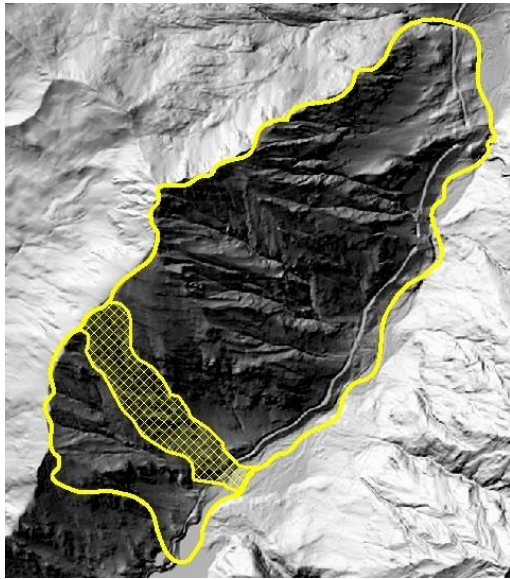
Estos materiales permiten la escorrentía superficial debido a su composición, con lo cual, el agua que entra en contacto con dicho material permite el transporte de materiales, ya que éste no filtra el agua y, por lo tanto, el material superficial queda desestabilizado. En cambio y a diferencia de las pizarras, las calizas, tienden a filtrar el agua creando poco escurrimiento superficial.

De este modo, en el marco de los deslizamientos tienen una gran importancia las pizarras, ya que suele ser material poco cohesionado debido a factores erosivos y muy superficial, lo que favorece los movimientos de materiales en masa.



La UP1 reúne, mediante características litológicas, de pendiente y de la vegetación, los factores necesarios para el desencadenamiento de movimientos vinculados con los deslizamientos a través de la canal de Pubilla.

Unidad Paisajística 2.

Canal de Senarta 1



Legend

-  Unidad Paisajística 2
-  Delimitación área estudio

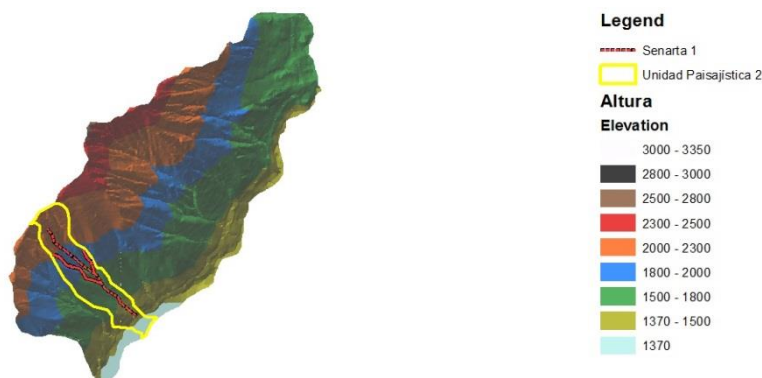
Mapa 11: Área que abarca la UP2. Elaboración propia.

La segunda UP abarca un total de $0,38\text{km}^2$, está alineada de NW a SE y tiene una longitud aproximada de 1440 m.

Esta canal abarca menos km^2 que la anterior pero está realizada remarcando únicamente el recorrido de la canal principal llamada Senarta 1.

A 2100m se forma la cabecera de la canal bajando de manera perpendicular hasta la cota más baja de la ladera (1300 m). Por el margen izquierdo de la UP2 nace otra canal a 2018 m que fusiona con la principal, aproximadamente a 1685 m. En el lado contrario, en el margen derecho, se haya la cabecera de una pequeña canal formada a 1900 m y que a los 1700 m interfiere en la canal principal de Senarta 1 formada a 2100 m.

En el siguiente mapa se ve reflejada la canal juntamente con su altura y sus ramificaciones:



Mapa 12: Modelo TIN con alturas, canales y delimitación de la UP2. Elaboración propia.

Al igual que en la UP anterior no encontramos cursos fluviales permanentes. Únicamente son de tipo torrencial que discurren a través de las diferentes canales que forman la ladera, la más importante de las cuales es Senarta 1.

Seguidamente se analizan los factores condicionantes del área junto con sus características principales.

- Pendiente:



Mapa 13: Mapa de pendientes UP2. Elaboración propia.

Como puede observarse en el mapa, han sido representadas todas aquellas pendientes en las que su inclinación es superior al 40%. A diferencia de la UP anterior, en esta puede verse una homogeneidad entre las zonas de pendientes con valores similares. En el centro de la UP2 puede verse una alineación casi perfecta de pendientes superiores al 60% que permiten la formación de la canal principal, Senarta 1.

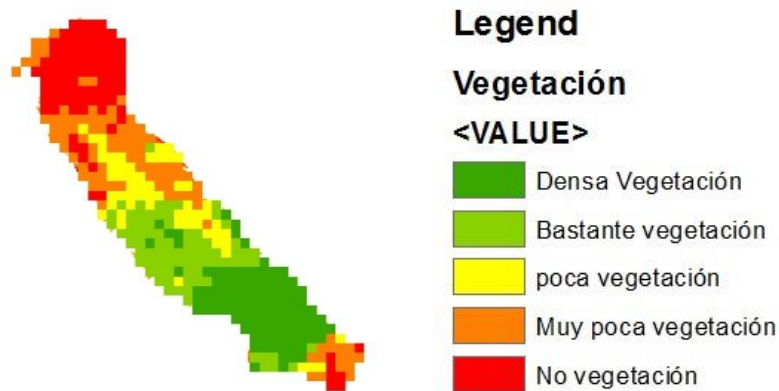
En la siguiente se incluye una ampliación del mapa donde se observa con facilidad la alineación de pendientes que forman la canal:



Mapa 14: Mapa 15 de pendientes. Ampliación alineación de pendientes superiores al 60%. Elaboración propia.

El alto grado de inclinación y la homogeneidad que presenta son factores que elevan el grado de peligrosidad de la canal, ya que estructuralmente contiene los factores idóneos para transportar material en grandes masas.

- Vegetación



Mapa 16: Mapa de vegetación UP2. Elaboración propia

En este caso se observa menos densidad de vegetación que en la UP anterior. En la parte inferior hay una masa densa de vegetación pero a medida que la ladera discurre en altura la masa de vegetación disminuye llegando a ser nula.

Este factor muestra la poca cohesión que hay entre el suelo y el regolito de éste debido al poco trabajo de las raíces de los bosques que forman la ladera.



Mapa 17: Superposición de pendiente y vegetación. Elaboración propia.

En cuanto a la superposición del mapa de pendiente juntamente con el de vegetación se advierte la relación comentada en la UP anterior. No se encuentra pendiente en las zonas con alta densidad de vegetación (zona blanca), pero sin embargo sí que hay algunas

zonas con bastante vegetación (zona azul) y pendiente. Dichas zonas se presentarán como zonas bastante inestables en cuanto a la dinámica de laderas.

- Geología



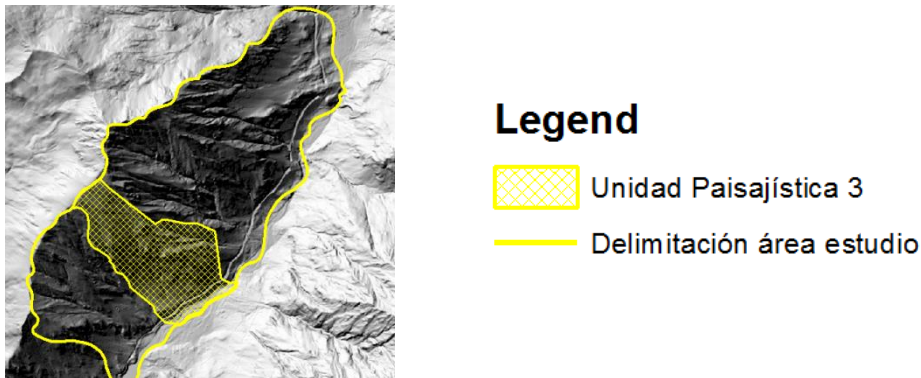
Mapa 18: Mapa litológico UP2. Elaboración propia.

Las características litológicas y geológicas de la UP2 son exactamente las mismas que las de la UP1, ya que comparten los mismos materiales y franjas altitudinales, teniendo, por tanto, similares dinámicas. La variable que diferenciará estas dinámicas será la vinculada con la vegetación y el pendiente.

La UP2 reúne, asimismo mediante características litológicas, de pendiente y de la vegetación, los factores necesarios para el desencadenamiento de movimientos vinculados con los deslizamientos mediante la canal de Senarta 1.

Unidad Paisajística 3

Canal de Senarta 2



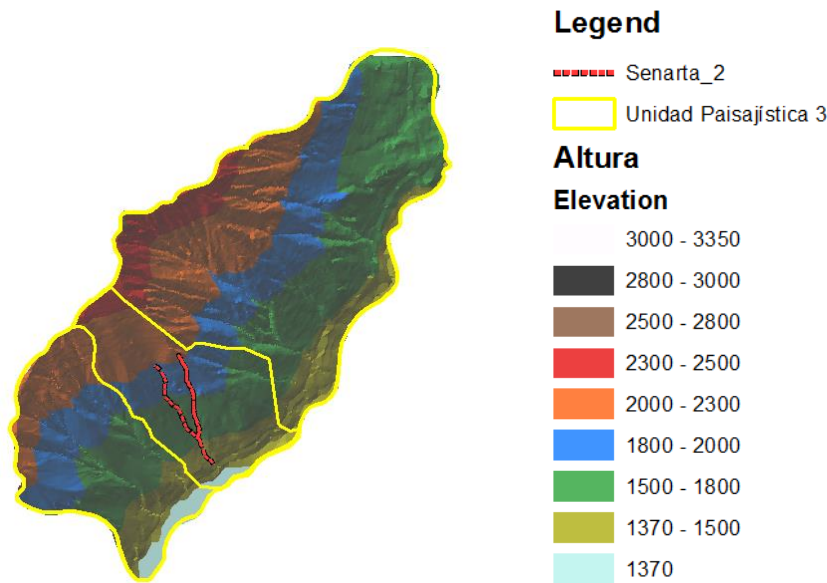
Mapa 19: Mapa del área que abarca la UP3. Elaboración propia.

La tercera UP abarca un total de 0,88 km² y tiene una alineación idéntica a las dos anteriores (NW-SE) 1500m de desnivel aproximadamente.

En cuanto a la estructura de la UP3 es importante destacar la canal que forma esta unidad. En este caso, y a diferencia de los anteriores, se trata de una canal formada a menos altura y únicamente con dos ramificaciones.

La canal de Senarta 2 se forma a 1980 m por dos canales, una en el margen izquierdo y la otra en el derecho. Estas canales discurren pendiente abajo, encontrándose a 1535 m y formando la canal principal que llegará hasta los pies de la ladera.

En la siguiente ilustración se puede observar un mapa de alturas con la distribución de la canal y la delimitación de la UP3.

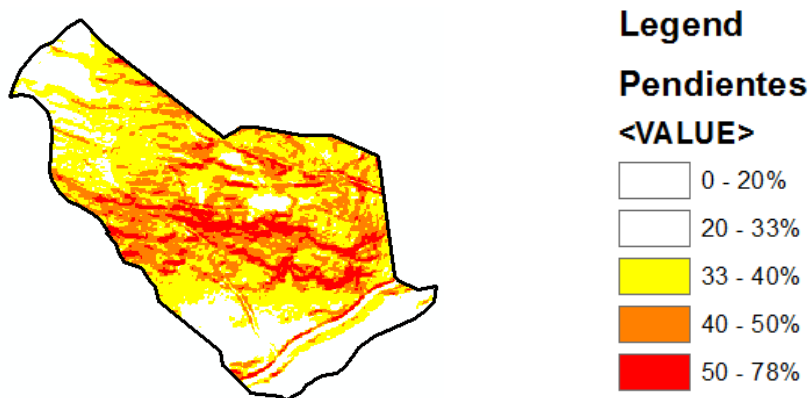


Mapa 20: Mapa de alturas con la distribución de la canal y la delimitación de la UP3. Elaboración propia.

En esta UP tampoco hay cursos fluviales permanentes de gran importancia, ya sean barrancos o ríos. Será a partir de la UP4 y la UP5 cuando sí que se encontraran barrancos con cursos fluviales de gran importancia.

A continuación se presentan los diferentes factores condicionantes del área juntamente con sus características principales.

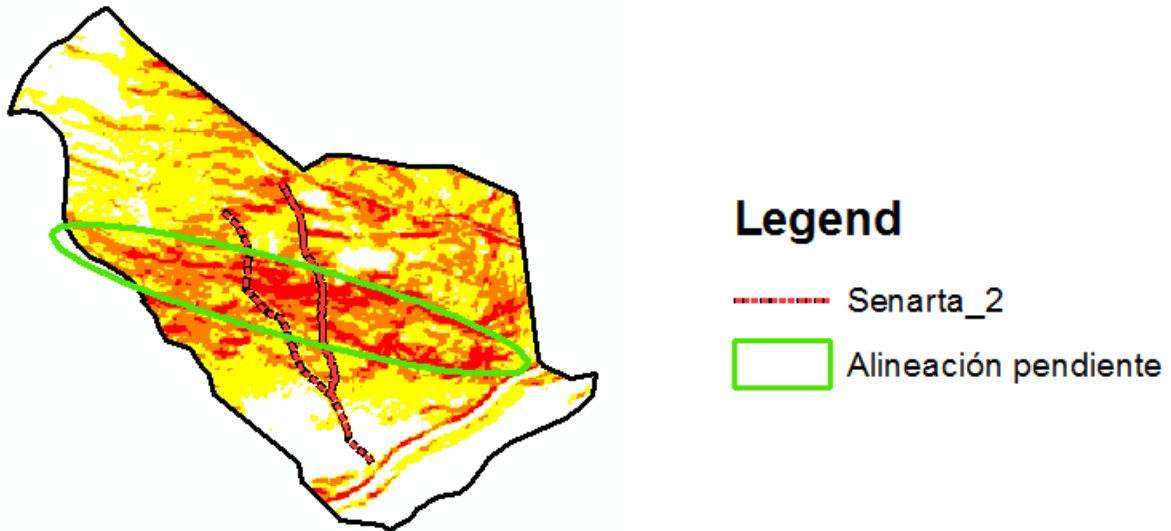
- Pendiente



Mapa 21: Mapa pendientes UP3. Elaboración propia.

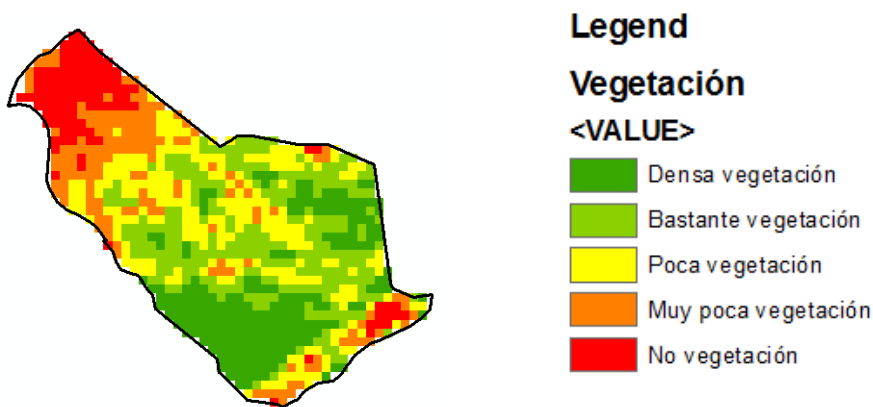
En el mapa de pendientes de la UP3 puede observarse cómo las cotas más elevadas de dicha unidad se corresponden con pendientes inferiores al 30%, lo cual permitirá la acumulación de nieve en estas zonas, constituyendo un factor determinante para los deslizamientos (4.3).

También puede verse reflejada una alineación de pendiente en la franja media-baja de la unidad, en la que las pendientes no bajan del 50% de inclinación. A diferencia de las unidades anteriores en las que la canal seguía las diferentes alineaciones de la pendiente, en este caso, la canal atraviesa dicha alineación, tal como se observa en el mapa adjunto.



Mapa 22: Mapa de pendientes con alineación del pendiente y representación de la canal de Senarta 2. Elaboración propia.

- Vegetación

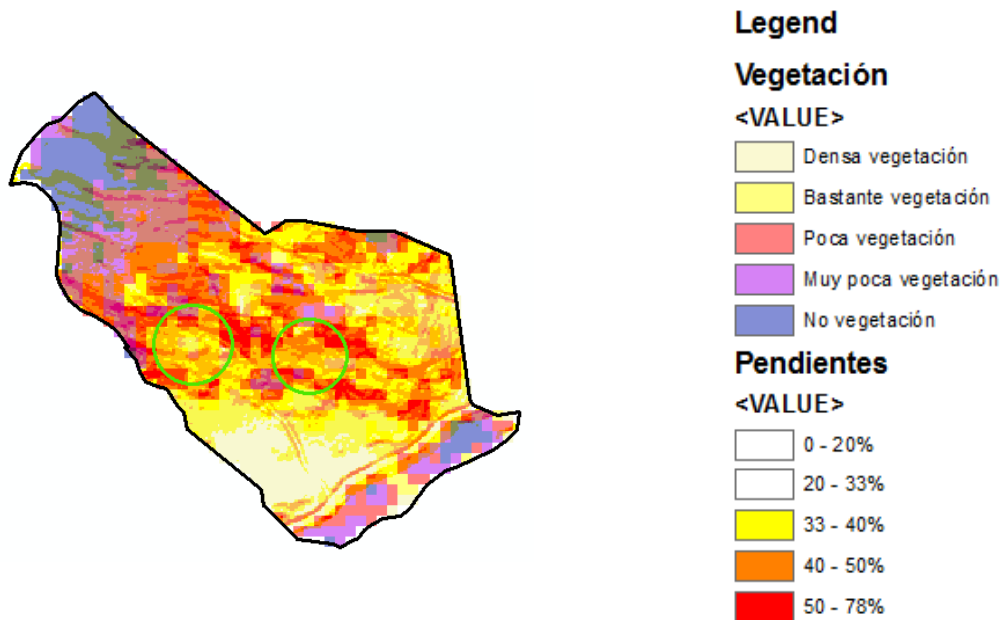


Mapa 23: Mapa de índices de vegetación normalizada (NDVI). Elaboración propia.

En cuanto a la vegetación se observa que la distribución de ésta, al igual que en los anteriores casos, va en función de la altitud. En las cotas más altas hay escasez de vegetación a diferencia de las cotas más bajas con gran densidad de vegetación y, por lo tanto, una buena cohesión entre el sustrato y el regolito que forma éste.

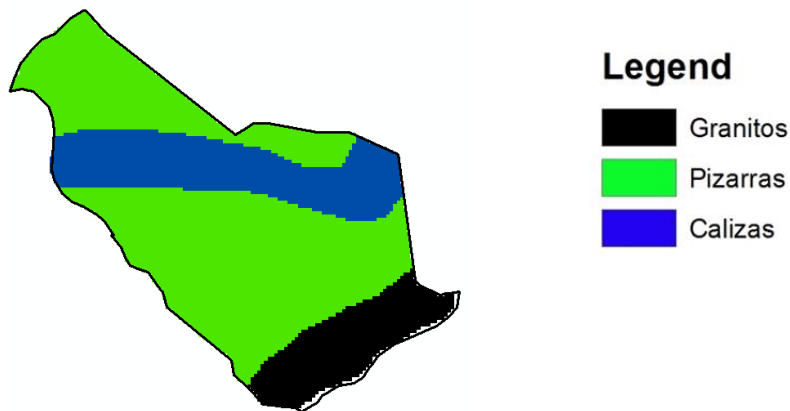
Los bosques que forman esta UP son exactamente los mismos que los de la UP1 y la UP2: bosques de abetos y pinos negros juntamente con hayedos.

Si superponemos el mapa de pendiente con el de vegetación se verá cómo hay zonas en las que la pendiente es elevada y el índice de vegetación también. Estas zonas (marcadas con círculos verdes) se determinarán como inestables, ya que son vulnerables a recibir, mediante un factor desencadenante, movimiento ladera abajo en forma de deslizamiento.



Mapa 24: Mapa de vegetación y pendientes. Elaboración propia.

- Geología



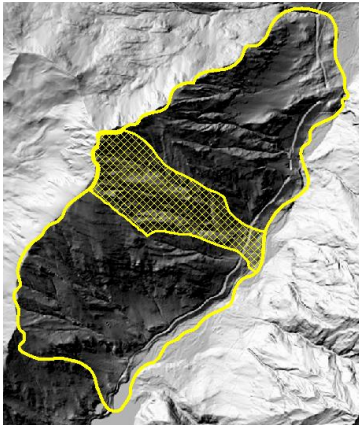
Mapa 25: Mapa litológico de la UP3. Elaboración propia.

Esta UP está constituida por los mismos materiales litológicos que las anteriores: pizarras, calizas y granitos.



La UP3 reúne, mediante sus características litológicas, de pendiente y de vegetación, los factores necesarios para el desencadenamiento de movimientos vinculados con los deslizamientos a través de la canal de Senarta 2.

Unidad Paisajística 4

Canal de Rosec



Legend

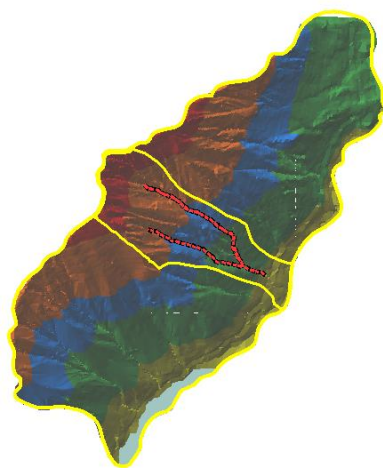
-  Unidad Paisajística 4
-  Delimitación área estudio

Mapa 26: Mapa del área que abarca la UP4. Elaboración propia.



La UP4 abarca un total de 0,7 km², tiene un desnivel aproximado de 1700 m y su orientación es la misma que sus predecesoras.

La canal principal de la UP es conocida por el nombre de Rosec. Se forma a 2300 m de altura, en el margen derecho de la unidad, observándose otra ramificación a 2100 metros. Dichas ramificaciones discurren pendiente abajo hasta encontrarse, aproximadamente, a 1600 m, formando así la canal principal que llegará hasta el pie de la carretera A-139.

En la siguiente ilustración se observa un mapa de altura con el recorrido de Rosec representado.











Legend

-  Rosec
-  Unidad Paisajística 4

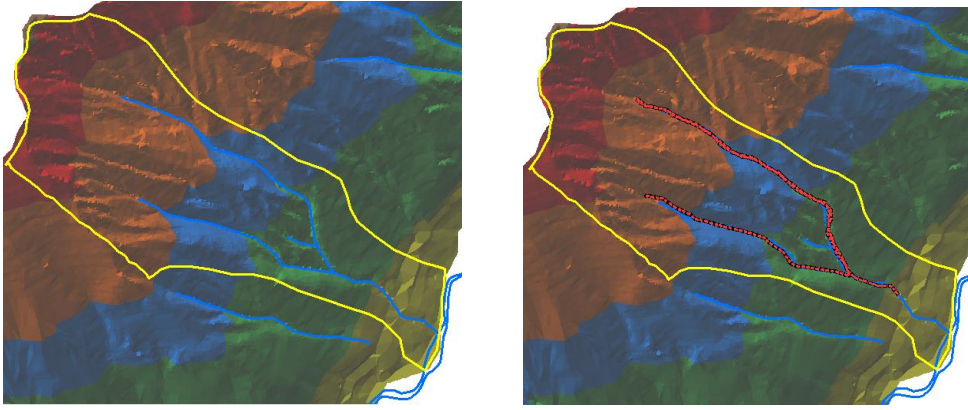
Altura

Elevation

- 3000 - 3350
-  2800 - 3000
-  2500 - 2800
-  2300 - 2500
-  2000 - 2300
-  1800 - 2000
-  1500 - 1800
-  1370 - 1500
-  1370

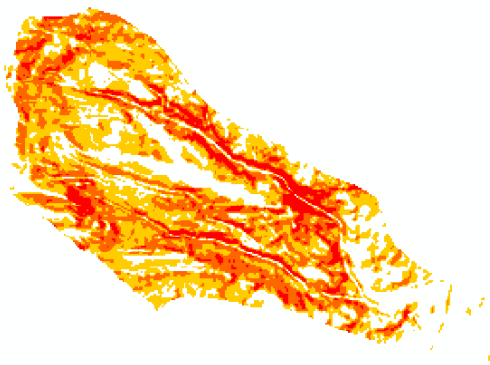
Mapa 27: Mapa alturas (TIN) con representación de la canal Rosec. Elaboración propia.

En la UP4 sí que aparecen cursos fluviales. En este caso el curso fluvial coincide con el recorrido de la canal de Rosec. Dicho curso fluvial es de tipo torrencial y de deshielo. En las siguientes ilustraciones se muestra una comparativa del río con la canal:



Mapa 28: Comparativa del río y la canal. Elaboración propia.

- Pendiente



Legend

Pendiente

<VALUE>

	0 - 15%
	15 - 30%
	30 - 40%
	40 - 45%
	45 - 55%
	55 - 78%

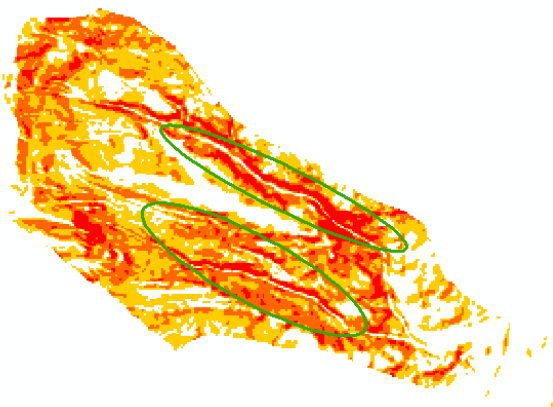
Mapa 29: Mapa de pendientes de la UP4. Elaboración propia.

En el caso de la UP4 se observa una alineación de la pendiente superior al 60% en el margen derecho de la unidad y en el margen izquierdo de ésta, marcando claramente la dirección de la canal Rosec y del curso fluvial.

Esta UP tiene una gran densidad de pendientes inclinadas y, por lo tanto, se presenta más peligrosa que las anteriores.

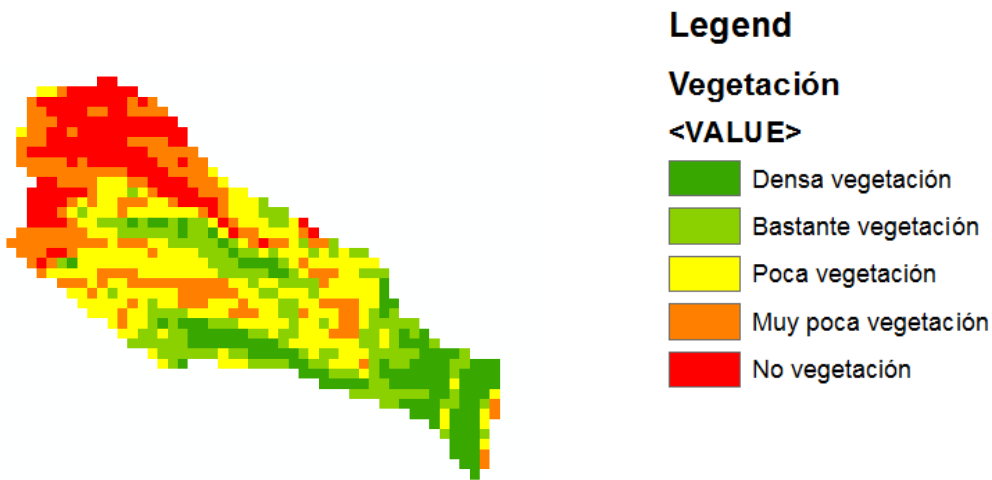
La parte inferior y la parte central son las que presentan menos pendiente marcando los límites de la canal. De todos modos no hay que menospreciar estas zonas, ya que serán propicias para la acumulación de material (nieve, litológico, etc.).

En el mapa que se ilustra a continuación se señalan las diferentes alineaciones de pendientes pronunciadas que anteriormente se han comentado y que marcan el recorrido de la canal.



Mapa 30: Mapa pendientes con zonas peligrosas marcadas en verde. Elaboración propia.

- Vegetación

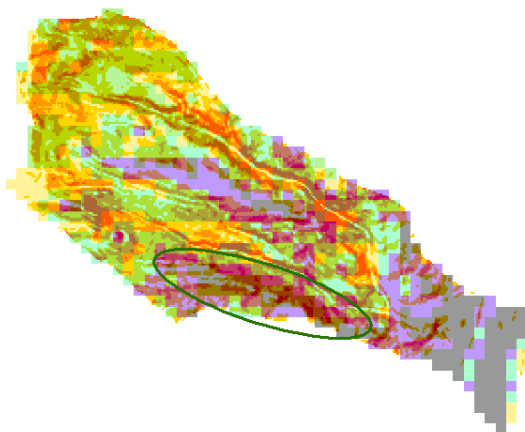


Mapa 31: Mapa de índice de vegetación normalizado (NDVI). Elaboración propia.

Al igual que en las anteriores UP se observa cómo en las cotas más altas de la unidad la densidad vegetal es nula permitiendo de esta manera la acumulación de masas nivales. En la parte central de la UP hay índices dispersos de vegetación a diferencia de la parte inferior donde se localizan las masas más densas de vegetación boscosa (pinos, abetos, hayas).

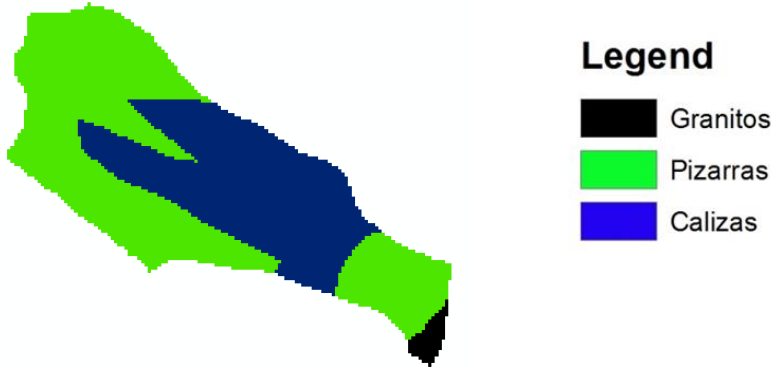
La cohesión entre el suelo y el regolito en esta unidad es bastante irregular, con lo que habrá zonas en las que la estabilidad de la ladera será bastante baja debido al poco enraizamiento que se produce con la ausencia de árboles.

En cuanto a la relación entre la pendiente y la vegetación se comprueba cómo las zonas con más pendiente no coinciden con zonas que tengan un alto índice de vegetación aunque, en el margen izquierdo de la unidad se observa una zona donde coincide un alto grado de pendiente junto con un índice de vegetación medio/alto.



Mapa 32: Mapa de vegetación superpuesto encima del de pendiente. Elaboración propia.

- Geología



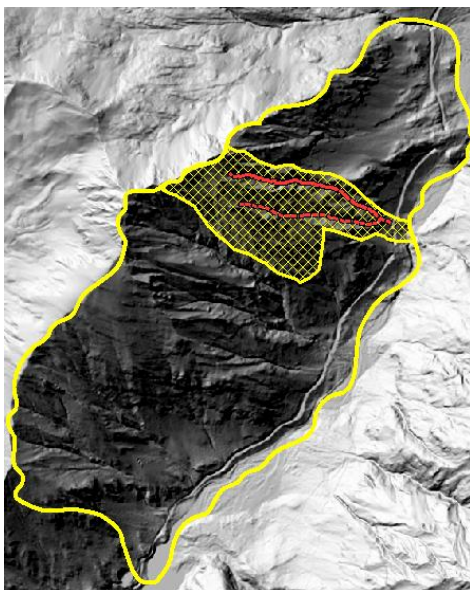
Mapa 33: Mapa litológico de la UP4. Elaboración propia.

En esta unidad se observan los mismos materiales litológicos que en las unidades anteriores. En este caso hay más presencia de calizas y menos de pizarras. Este hecho favorece la infiltración del agua y es la explicación de la formación de la canal, ya que el agua ha ido erosionando la ladera mediante excavaciones y ha permitido los cursos fluviales. Las zonas con pizarras están situadas en las cotas más altas y en los pies de la ladera (zonas resbaladizas).

La UP4 también reúne, mediante sus características litológicas, de pendiente y de vegetación, los factores necesarios para el desencadenamiento de movimientos vinculados con los deslizamientos a través de la canal de Rosec.

Unidad Paisajística 5

Canales Royes



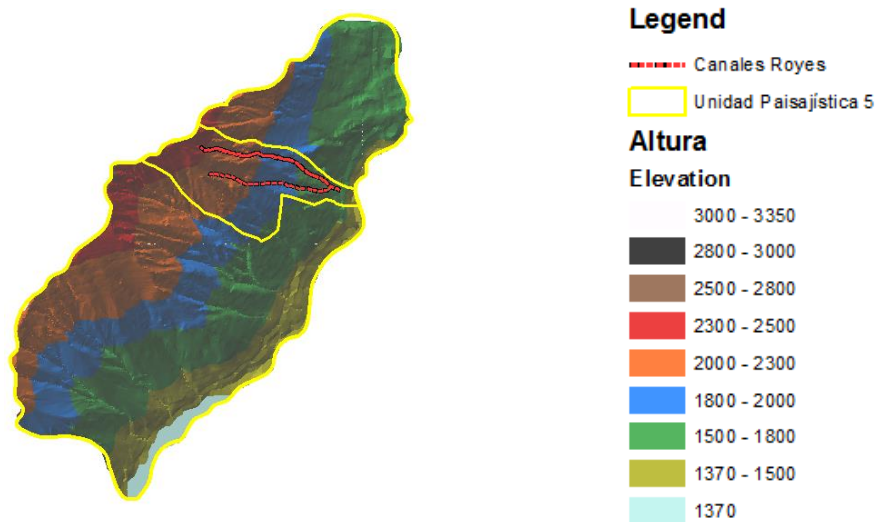
Legend

- Canales Royes
- Unidad Paisajística 5
- Delimitación área estudio

Mapa 34: Mapa del área que abarca UP5 delimitada y visualización de la canal Canales Royes. Elaboración propia.

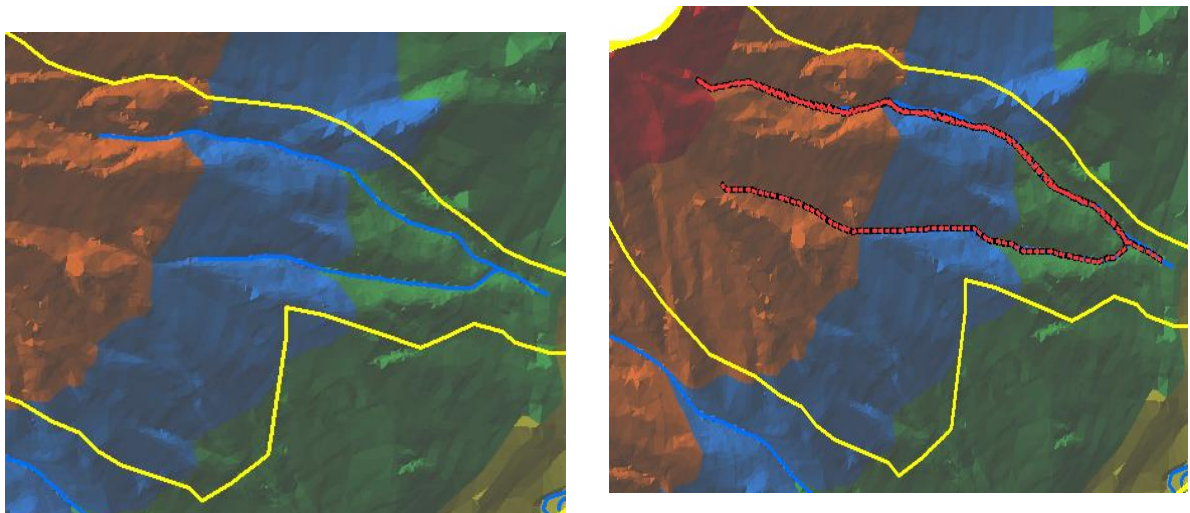
La UP5 abarca un total de 0,57 km² y tiene un desnivel aproximado de 1515 m. Su orientación es WNW-ESE y su canal principal lleva por nombre Canales Royes.

La canal Canales Royes tiene dos inicios; el primero en el margen derecho de la unidad a 2328 m y el segundo en el margen izquierdo a 2232 m. Estos canales discurren pendiente abajo e interactúan a la altura de 1560 metros formando la canal Canales Royes. En la siguiente ilustración puede observarse este fenómeno juntamente con las cotas de altitud.



Mapa 35: Mapa de altura (TIN) con canal Canales Royes representada. Elaboración propia.

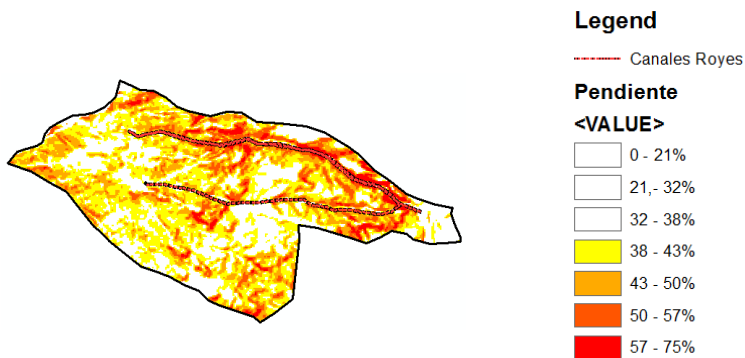
En esta unidad al igual que en la anterior hay cursos fluviales que coinciden con el recorrido de la canal. En la siguiente ilustración puede observarse la coincidencia de este hecho.



Mapa 36: Mapas contrastados del curso fluvial y del recorrido de la canal. Elaboración propia.

Los diferentes factores condicionantes del área son:

- Pendiente

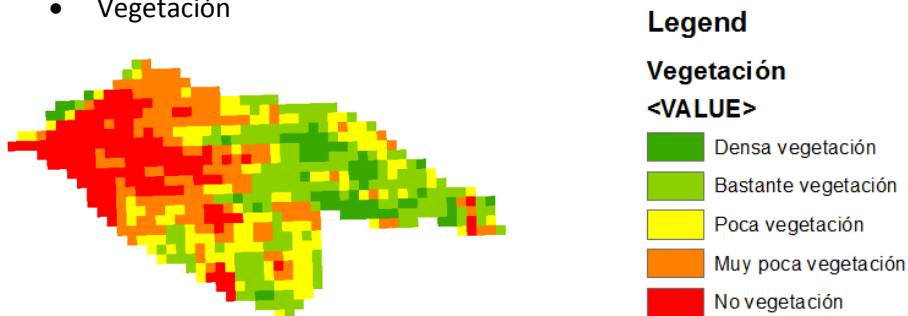


Mapa 37: Mapa UP5 pendientes. Elaboración propia

En cuanto a las pendientes de la UP5 puede decirse que es bastante homogéneo, con pocas zonas con pendientes inferiores al 30%. Las inclinaciones que más abundan son las del 38-43% junto con las de más de un 50% de inclinación.

En el margen derecho de la unidad observamos una alineación de pendientes superiores al 60% (franja roja), que marcarán el recorrido de la canal Canales Royes.

- Vegetación



Mapa 38: Mapa NDVI (Índice Vegetación Normalizado). Elaboración propia.

En el margen izquierdo de la unidad, zona que coincide con las cotas más elevadas, se observa muy poca densidad de vegetación. A medida que la pendiente discurre hacia el margen derecho se observa un aumento de la vegetación y, consecuentemente, de la cohesión del suelo con el regolito debido al enraizamiento de los árboles.

El índice de vegetación en esta unidad es bastante bajo en comparación con las anteriores ya que casi la mitad de la UP contiene escasa o nula vegetación, con lo cual, se favorecerá la rotura del sustrato y el desencadenamiento de movimientos gravitacionales.



Mapa 39: Mapa materiales litológicos. Elaboración propia.

En el mapa litológico de la UP5 se observa cómo casi el 45% de material predominante son pizarras, otro 45% son calizas, dejando un 8% para materiales aluviales que han sido depositados a lo largo del tiempo y un 2% para derrubios de ladera en el margen inferior izquierdo de la unidad.

Las pizarras, situadas en las cotas más elevadas, nos muestran un tipo de sustrato impermeable y resbaladizo, a diferencia de las calizas que permeabilizan el agua mediante su absorción.

Como en las unidades paisajísticas anteriores se ha comentado, las calizas favorecen la cohesión del material, ya que no permiten el movimiento de éste debido a la poca impermeabilidad que tienen y a que almacenan el agua que cae en el sustrato. Sin embargo, un almacenamiento extremo de agua puede provocar la rotura de la cohesión entre el sustrato y el resto de materiales aunque son episodios muy esporádicos.

Finalmente, hay que señalar que la UP5 cuenta con algunas medidas correctoras frente al riesgo natural; en este caso se trata de una visera colocada en la carretera A-139. En la fotografía adjunta puede observarse perfectamente esta medida correctora.



Foto 9: Foto cedida por la Fundación Llanos del Hospital. Visera de Canales Royes

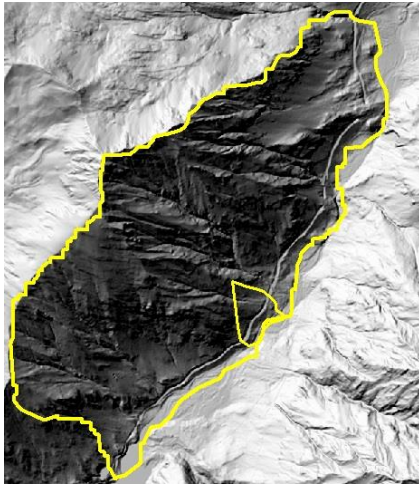
La UP5 reúne asimismo, mediante características litológicas, de pendiente y de vegetación, los factores necesarios para sus desencadenamientos de movimientos vinculados con los deslizamientos mediante la canal de Canales Royes.

• Desprendimientos

En este caso y a diferencia del anterior, la delimitación de las unidades vinculadas con los desprendimientos no se ha llevado a cabo en función de las canales importantes que discurren en las unidades sino por una serie de puntos que se han tomado mediante geolocalización, correspondientes a donde se han observado desprendimientos de la ladera.

Una vez tomados y geolocalizados estos puntos se ha delimitado el área de la unidad paisajística para posteriormente llevar a cabo su análisis.

Unidad Paisajística 1



Legend

 UP1 Desprendimientos

Mapa 40: Delimitación UP1 en el área de estudio. Elaboración propia.

La UP1 vinculada con los desprendimientos abarca un total de 0,096 Km² y tiene un desnivel aproximado de 392m.

Está situada en la parte inferior central de la zona de estudio, concretamente entre las unidades de deslizamientos 4 y 5. Concretamente la zona en la que se ha producido el desprendimiento puede observarse en las siguientes fotografías.

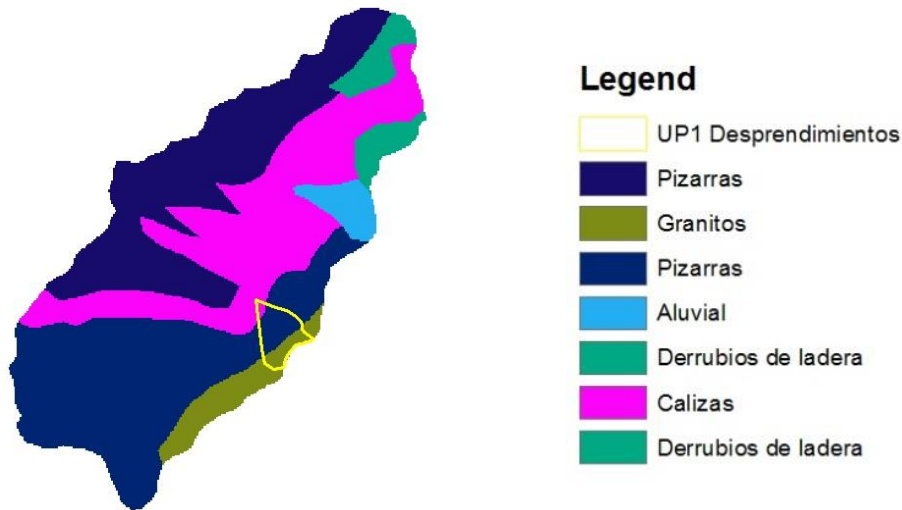


Foto 10-11: Zona susceptible a desprendimientos de la UP1. Elaboración propia.

Se ve, cómo en la zona marcada mediante GPS existe una cavidad en el sustrato rocoso, originada por un desprendimiento que hubo con anterioridad y que cayó a la carretera.

La explicación de este proceso se debe a:

- La presencia de agua que, mediante gelifracción, rompe con la cohesión en el sustrato rocoso y permite la caída de bloques.
- Presencia de materiales esquistosos y calcáreos.
- Alto grado de pendiente
- Inexistencia de vegetación.



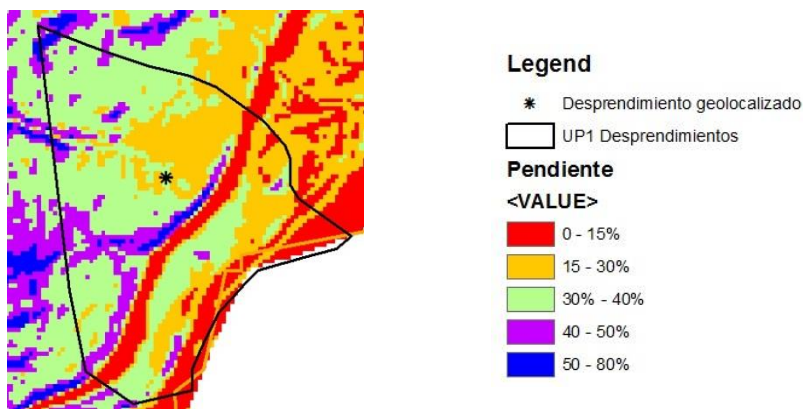
Mapa 41: Mapa litológico del área de estudio con la delimitación de la UP1. Elaboración propia.

En el mapa anterior se muestra la litología de la que está compuesta la primera unidad vinculada con los desprendimientos. Se observa cómo las pizarras (en mayor grado) y los granitos son los materiales predominantes en esta zona.

El hecho de que las pizarras sean el material predominante, junto con los granitos, eleva el grado de peligrosidad vinculado con la producción de desprendimientos, ya que si se le suma un factor desencadenante, como en el caso de la fotografía, el agua (gelifracción) facilitará el desencadenamiento del desprendimiento.

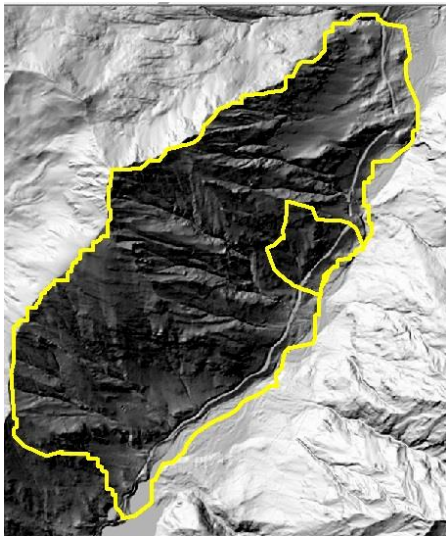
Otro aspecto a tener en cuenta es la poca vegetación que se observa en la fotografía, ya que al tratarse de un sustrato rocoso impide el enraizamiento y, por lo tanto, la cohesión entre el sustrato y el regolito.

El tercer y último aspecto a tener en cuenta está vinculado con la pendiente. El hecho de que la pendiente en esta zona tenga valores superiores al 65% ayuda al desencadenamiento de desprendimientos, ya que, como factor condicionante, será el que acabará determinando la caída de material.





Mapa 42: mapa de pendientes de la UP1. Se observa la pendiente (%), la delimitación de la unidad y la localización del desprendimiento en cuestión. Elaboración propia.

Unidad Paisajística 2



Legend

-  UP2 Desprendimientos
-  Área Estudio

Mapa 43: Delimitación UP2 en el área de estudio. Elaboración propia.

La UP2 vinculada con los desprendimientos abarca un total de 0,22 Km² y tiene un desnivel aproximado de 400m.

Está situada en la parte inferior central de la zona de estudio, limítrofe con el margen inferior derecho de la UP4 (deslizamientos) y el margen izquierdo de la UP5 (deslizamientos). Concretamente la zona en la que se ha producido el desprendimiento puede observarse en la siguiente fotografía.

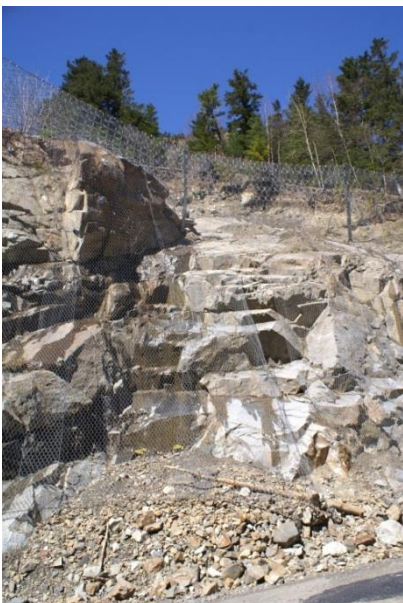


Foto 12: Zona susceptible a desprendimientos de la UP2. Elaboración propia.

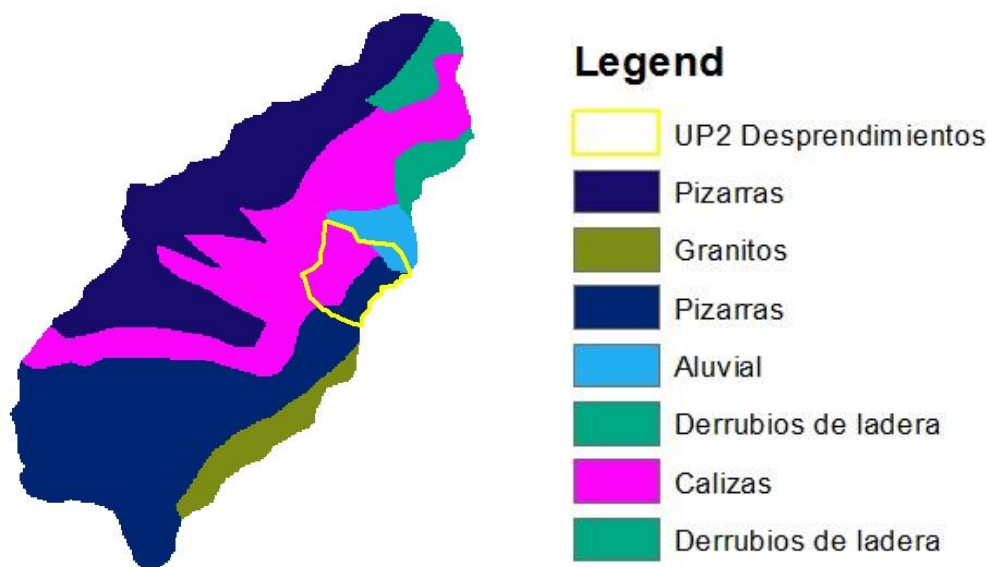
La explicación de este proceso se debe a:

- La presencia de agua que, mediante gelifración, rompe con la cohesión en el sustrato rocoso y permite la caída de bloques.
- Presencia de materiales esquistosos y calcáreos.
- Alto grado de pendiente
- Inexistencia de vegetación.

Mediante la observación de la foto pueden verse una serie de medidas correctoras para combatir el riesgo en forma de desprendimiento.

También se aprecia la ausencia de trozos de pared debido a su caída libre por la presencia de agua que, mediante gelifración, ha conseguido romper con la coyuntura del sustrato y permitir su caída gravitacional.

En cuanto a la litología de la zona:



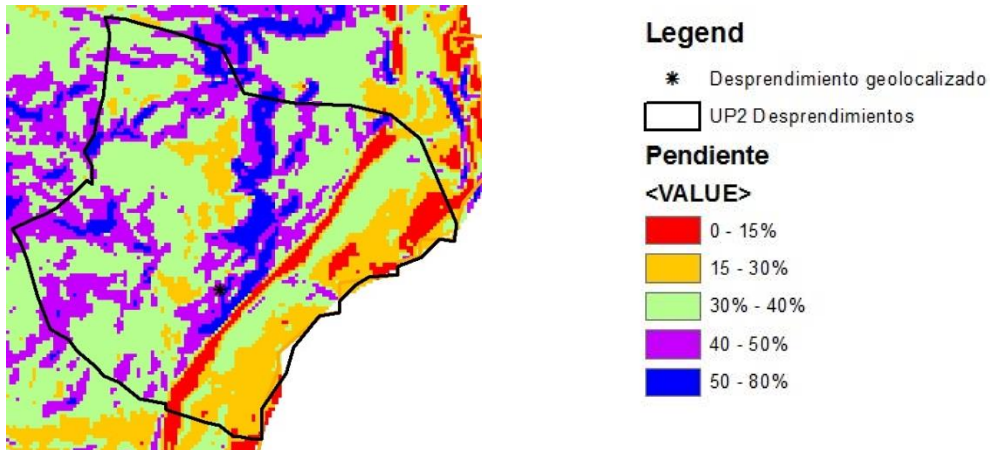
Mapa 44: Mapa litológico del área de estudio con la delimitación de la UP2. Elaboración propia.

A diferencia del caso anterior, la roca predominante son las calizas (en las cotas más elevadas), pasando a pizarras a medida que disminuye la altura.

Este fenómeno muestra que cuando hay presencia de agua, ya sea por deshielo o debido a precipitación, ésta es infiltrada en las zonas calcáreas, llegando a chocar con el material esquistoso (pizarras) emergiendo, posteriormente, en superficie. Éste fenómeno provocará la rotura del sustrato esquistoso (reflejado en la fotografía), permitiendo la caída libre de bloques.

Otro factor que también determinará la rotura del sustrato en forma de bloques será la no presencia de vegetación, tal ya se ha comentado anteriormente.

El último factor condicionante del desprendimiento en cuestión será el pendiente. En este caso se observan también pendientes superiores al 65%, es decir, pendientes muy inclinadas. Este factor condicionará el desencadenamiento de movimientos gravitacionales en forma de desprendimientos, ya que, junto con la no presencia de vegetación, la litología en forma de pizarras y la presencia de agua, favorecerán la generación de este riesgo.



Mapa 45: Mapa de pendientes de la UP2. Se observa la pendiente (%), la delimitación de la unidad y la localización del desprendimiento en cuestión. Elaboración propia.

4.2.2 Cuadro atributivo de deslizamientos

PELIGROSIDAD UNIDADES PAISAJÍSTICAS					
VARIABLE	UP1	UP2	UP3	UP4	UP5
Pendiente	30-50%	30-50%	50-75%	50-75%	50-75%
Vegetación	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Elemento de riesgo	Elemento de riesgo
Litología	Material impermeable	Material impermeable	Material impermeable	Material permeable	Mixto
Hidrografía	No	No	No	Si	Si
Acumulación nival	Media	Muy Alta	Alta	Media	Alta
FORMULA	$1+0+1+0+0,5=2,5$	$1+0+1+0+2=4$	$2+0+1+0+1=4$	$2+1+0+1+0,5=4,5$	$2+1+0,5+1+1=5,5$

Pendiente	Vegetación	Elemento de agarre (-1)	Litología	Hidrografía	Si (1) No (0)	Acumulación Nival	Muy Alta (2) Alta (1) Media (0,5) Baja(0)
<30% (0,5)							
30-50%(1)							
50-75%(2)		Ausencia/Poco importante (0)					
>75%(3)		Elemento de Riesgo (1)					
			Materiales impermeables(0)				
			Mixto (0,5)				
			Materiales permeables (1)				

Peligrosidad			
Muy Alta	Alta	Media	Baja
>4	3-4	2-3	0-2

Tabla 4: Tablas atributivas de peligrosidad en los deslizamientos

Esta tabla atributiva nos permite ver el reflejo de las diferentes características que han sido comentadas en las Unidades Paisajísticas de deslizamientos presentadas con anterioridad.

Los datos expresados en la tabla se refieren a una media total de los diferentes factores analizados: pendiente, vegetación, litología, hidrografía y acumulación nival de cada unidad. El resultado de la suma de estas medias refleja el índice de peligrosidad que presenta cada unidad.

Dicho resultado será expuesto en el apartado de Cartografía resultante (5).

Como se ha explicado en el apartado (4.2) en este estudio no hemos querido dar tanta importancia a los factores desencadenantes como a los condicionantes (pendiente,

vegetación, hidrografía y litología) ya que los primeros no están permanentes durante todo el tiempo debido a que van ligados con las condiciones meteorológicas.

De todos modos, se presentarán unos valores hipotéticos para las diferentes condiciones meteorológicas que sean desfavorables y consecuentemente puedan actuar como factores desencadenantes para el riesgo natural en cuestión. Por ello se creará una tabla de factores desencadenantes. Cada factor tendrá un valor que se añadirá luego a la tabla final (4.2.2) para poder realizar el cálculo de la peligrosidad de la zona.

En cuanto a los factores desencadenantes en el caso de los deslizamientos encontramos:

Factor Desencadenante en abundancia	Valor (%)
Agua (precipitación)	1
Nieve (deshielo)	1,5
Terremotos	2

Tabla 5: Tabla atributiva hipotética de desencadenantes en abundancia

Factor Desencadenante normalizado	Valor (%)
Agua (precipitación)	0,5
Nieve (deshielo)	1
Terremotos	1

Tabla 6: Tabla atributiva hipotética de factores desencadenantes normalizados.

Estos serán los valores constantes que se han dado a los factores desencadenantes ya que al no ser permanentes van a ser variables y se ha decidido hacer una media. Como puede observarse los valores van de 0 a 1 cogiendo el 1 como el valor máximo y el 0 como el valor mínimo.

El valor representado en esta tabla atributiva refiere al valor máximo que puede obtener la abundancia de los tres factores y a su nivel normalizado. Puede observarse la importancia de los terremotos y del des-hielo a la hora de desencadenar un deslizamiento en la zona de estudio.

En cuanto a la vulnerabilidad, no se ha querido expresar ni cartográficamente ni de manera gráfica mediante una tabla atributiva ya que la única variable utilizada, en este caso, ha sido la carretera. Al no haber viviendas, banales ni parcelas privadas, no ha hecho falta expresar el grado de vulnerabilidad.

4.3 Resultados del análisis

En este apartado se presentará, mediante un marco teórico, los resultados obtenidos del análisis realizado con los Sistemas de Información Geográfica de los deslizamientos y los desprendimientos en la zona de estudio.

Los modelos de análisis presentados a lo largo del trabajo y las herramientas utilizadas vinculadas con los deslizamientos (tablas atributivas, fotos, variables, factores, etc) proporcionan una información sobre las condiciones de estabilidad que presenta la ladera y, consecuentemente, el área de estudio.

Mediante la geolocalización del trabajo de campo y el programa ArcGIS que permite la superposición de variables, se ha podido obtener unos resultados cartográficos (visuales) que muestran las áreas potencialmente más peligrosas y las zonas más susceptibles del área de estudio.

4.3.1 Análisis de los deslizamientos

En cuanto al análisis de los deslizamientos, ha sido muy importante el programa ArcGIS para, como anteriormente se ha comentado, poder realizar una superposición de factores condicionantes (litología, índice de vegetación, pendiente, etc).

A través de la delimitación del área de estudio en unidades paisajísticas se ha facilitado el análisis de dicha área concretando las zonas de estudio y sus características.

En lo que refiere a los resultados del análisis de los deslizamientos, hay que señalar que el orden de las unidades paisajísticas en función de su grado de peligrosidad es el siguiente: la Unidad 5 (5,5), la Unidad 4 (4,5), la Unidad 3 (4), la Unidad 2 (4) y la

Unidad 1 (2,5). Por lo tanto, se determinará de muy peligrosa a la Unidad 5 y 4, de peligrosas a las Unidades 3 y 2 y de poco peligrosa a la Unidad 1.

En función de las condiciones meteorológicas que se den el valor obtenido puede cambiar. Dependiendo del grado de intensidad en que cada unidad reciba estas condiciones (factores desencadenantes). Mediante la tabla atributiva hipotética donde se reflejan valores constantes para cada suceso puede entreverse el impacto que pueden llegar a generar en las diferentes unidades paisajísticas.

Respecto a los valores asociados a cada variable de las diferentes unidades paisajísticas, han sido obtenidos mediante observación y cálculos matemáticos en los que se ha generado una media de cada variable y consecuentemente se le ha otorgado un valor. A la variable que se le ha dado más importancia ha sido la pendiente, seguida de la acumulación nival y de la vegetación, respectivamente. Las variables con menos valor han sido la litológica y la hidrográfica.

Únicamente se ha realizado una tabla de atributos vinculada con la peligrosidad de los deslizamientos ya que en cuanto a la vulnerabilidad, la variable afectada es una (Carretera A-139). Por lo tanto, los lugares con mayor peligrosidad cercanos a la carretera serán las partes vulnerables de la zona de estudio. Dichos resultados, al igual que los anteriores podrán observarse en el apartado 5.

4.3.2 Análisis de los desprendimientos

Para el análisis de los desprendimientos se ha llevado a cabo una metodología diferente. En este caso y a diferencia del anterior, se ha realizado una localización mediante el trabajo de campo de las áreas potencialmente peligrosas para el desencadenamiento de desprendimientos. Una vez localizadas, han sido georreferenciadas en ArcGIS y de este modo representadas en el mapa de la zona de estudio.

Esto ha permitido poder delimitar una Unidad paisajística para cada área y poder llevar a cabo un estudio vinculado con los agentes condicionantes del fenómeno como: la litología, la pendiente, la presencia de agua y de vegetación, etc.

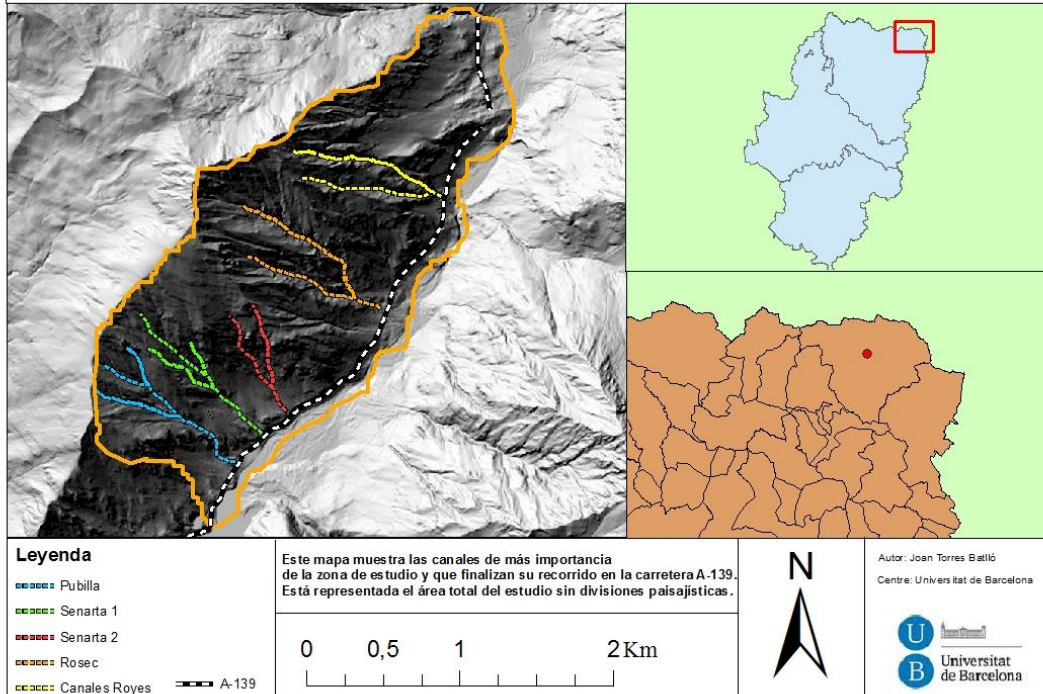
En este análisis no se ha querido presentar las zonas más peligrosas o vulnerables al desprendimiento, sino desprendimientos concretos que se han producido en el área de estudio. Por lo tanto, tampoco se ha querido presentar una tabla atributiva en la que salgan los diferentes valores que se atribuyen al tipo de desprendimiento, ya que se le ha dado el mismo valor debido a que no hemos jugado con áreas, sino con puntos geolocalizados concretamente. De todos modos, es importante comentar la diferencia vinculada con la afección entre los desprendimientos y deslizamientos que se producen en la carretera A139, ya que los primeros tienen un grado de afección minoritario en comparación con los deslizamientos que sí que son el fenómeno más recurrente y destructivo.

Con lo cual, el resultado final de este estudio se verá reflejado de manera cartográfica en el apartado 5, donde podrán observarse las diferentes puntos en los que el riesgo natural vinculado con el desprendimiento en el borde de la carretera A-139 ha estado y sigue estando presente.

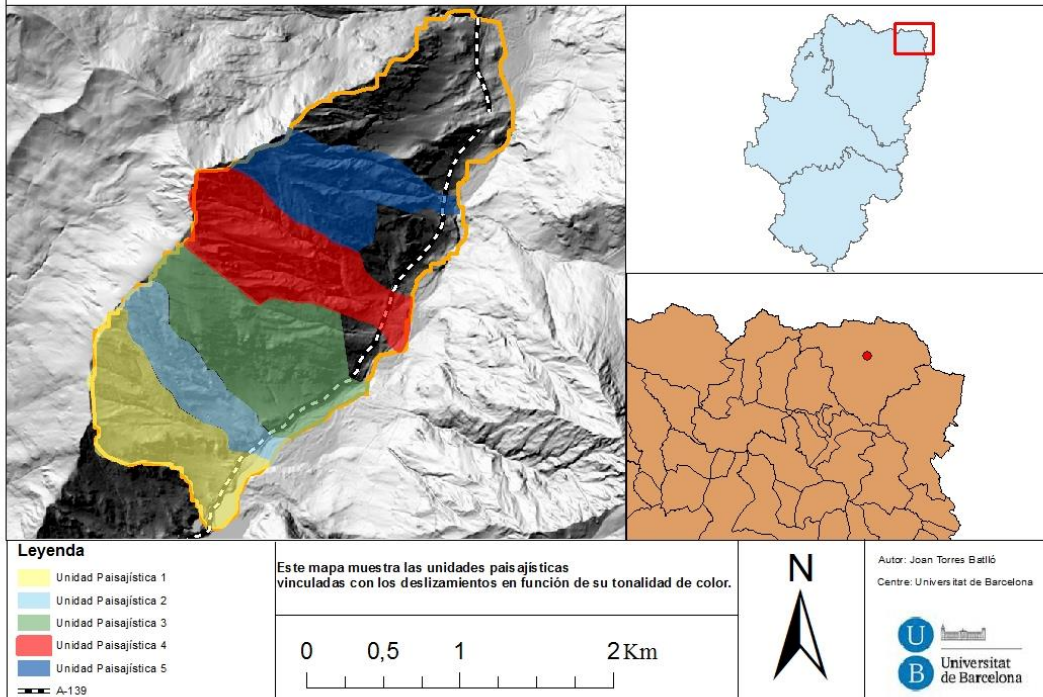
5. Cartografía resultante

La cartografía resultante se encuentra como archivo adjunto dentro de este apartado.

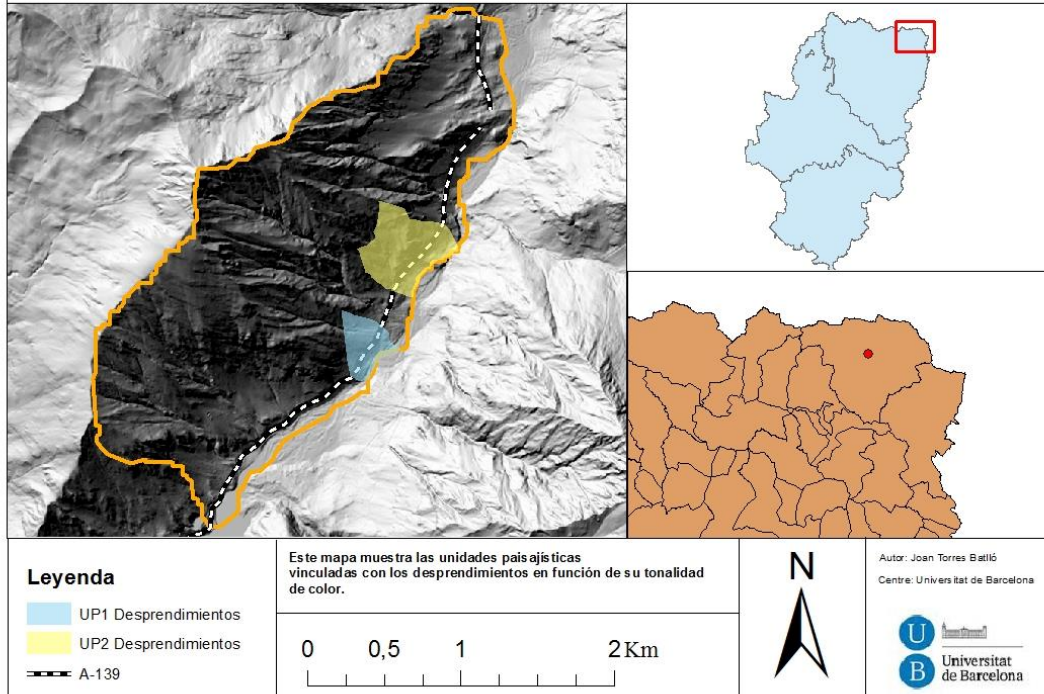
MAPA DE CANALES



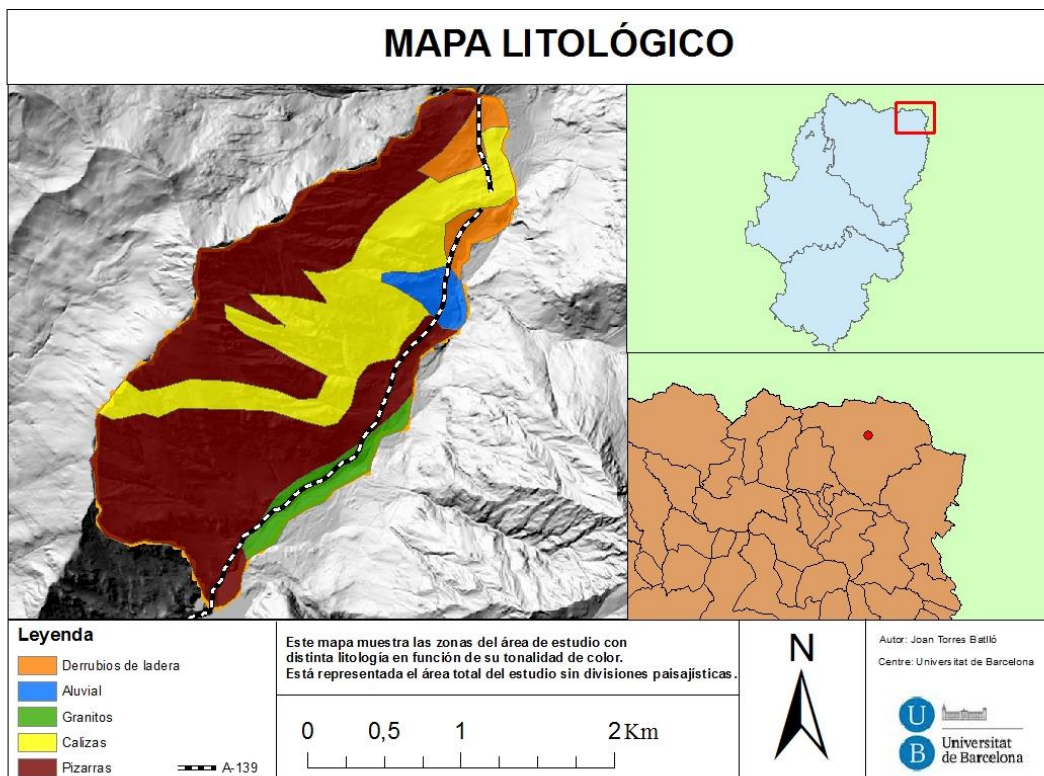
MAPA UNIDADES PAISAJÍSTICAS DESLIZAMIENTOS



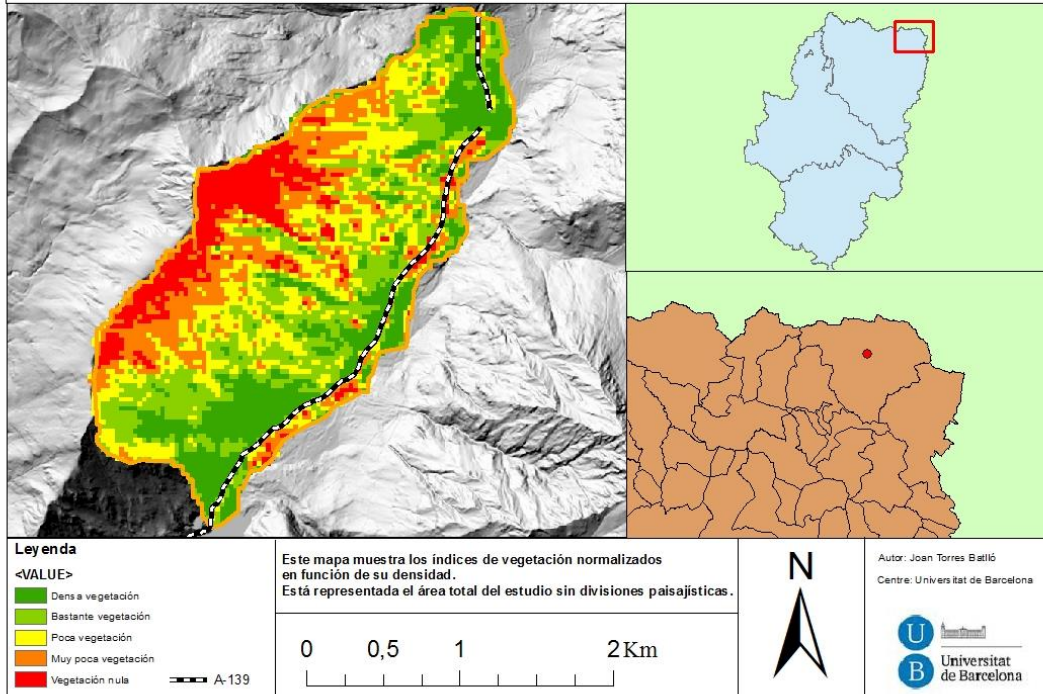
MAPA UNIDADES PAISAJÍSTICAS DESPRENDIMIENTOS



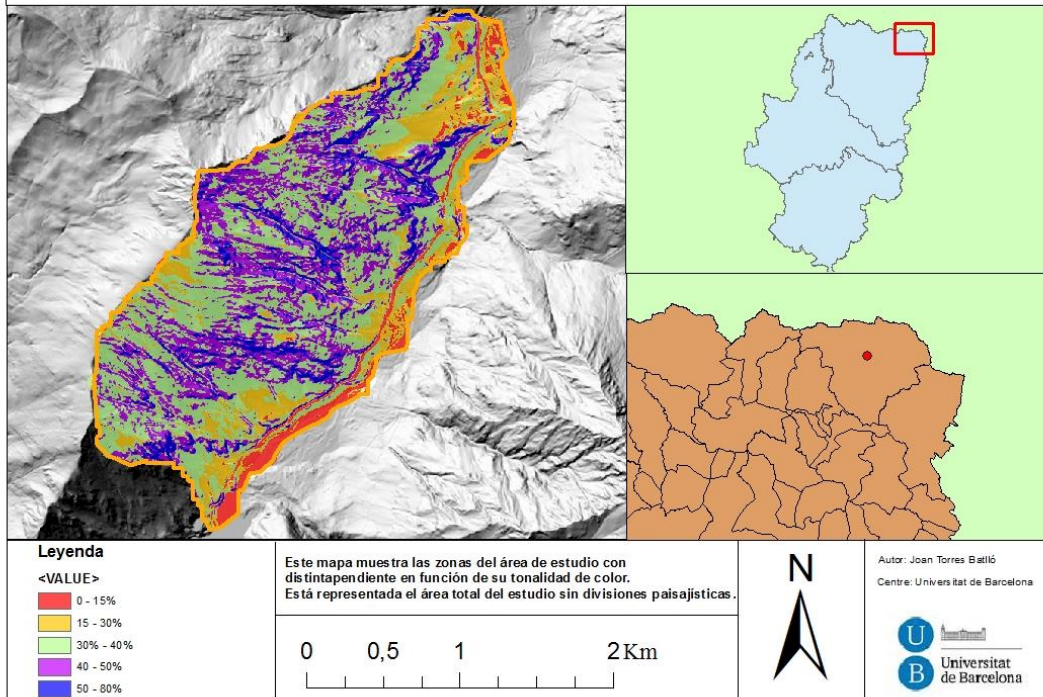
MAPA LITOLÓGICO



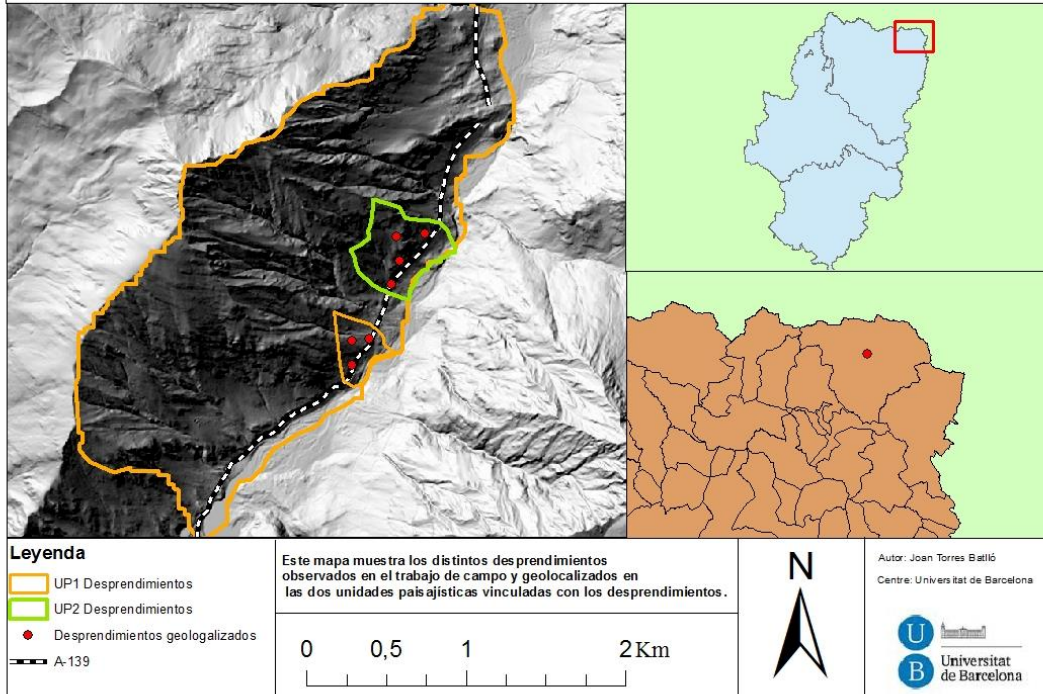
MAPA DE VEGETACIÓN



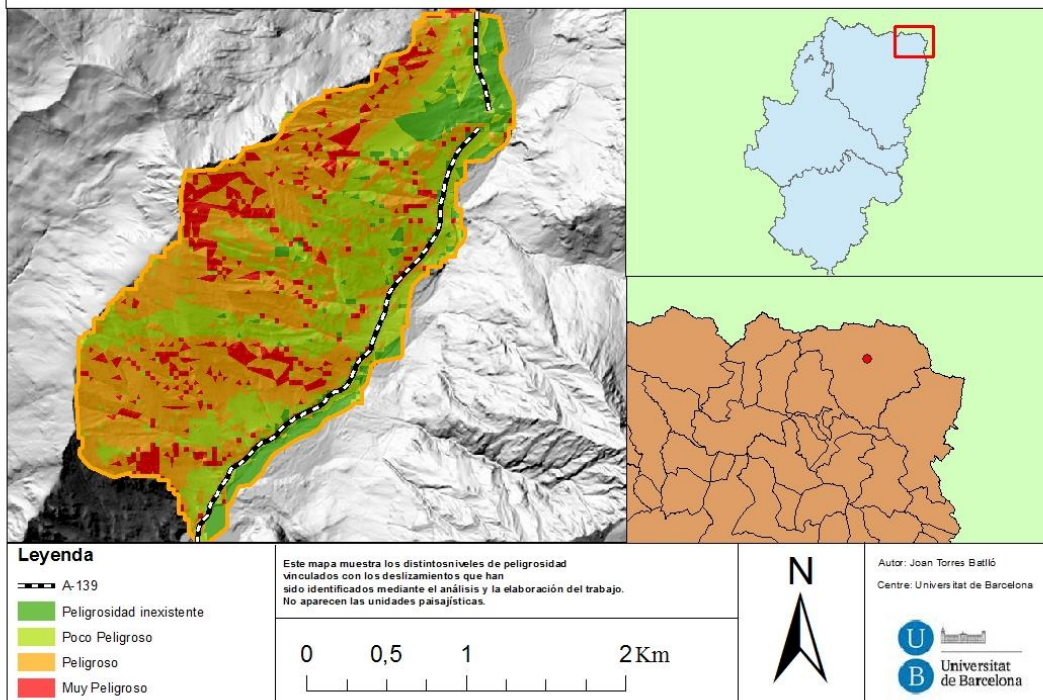
MAPA DE PENDIENTES



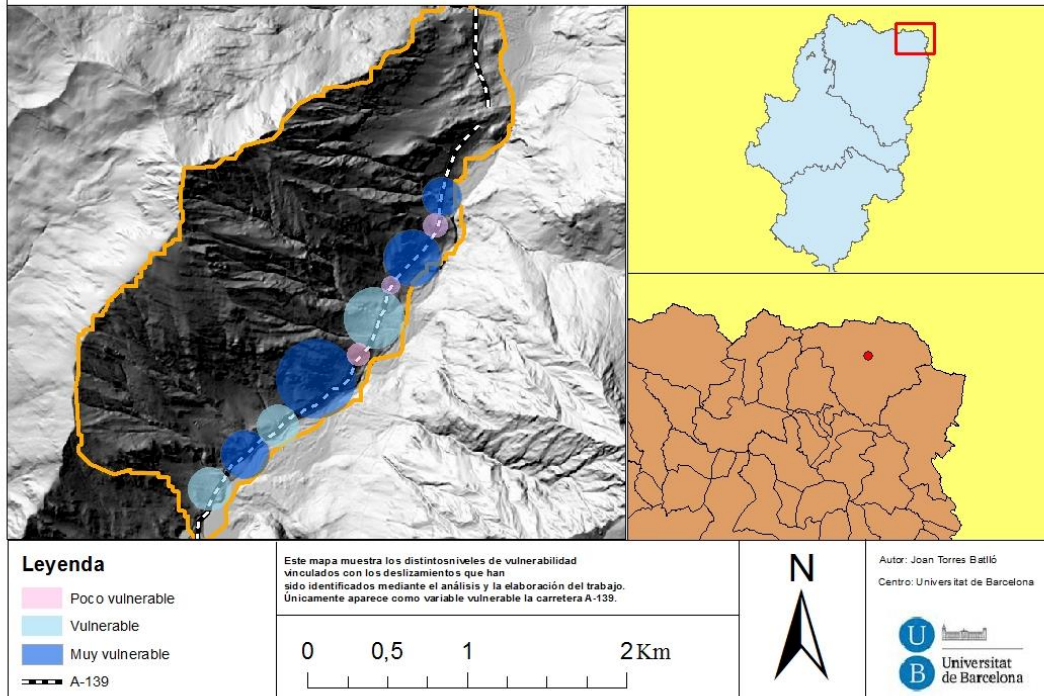
MAPA DE LOCALIZACIÓN DESPRENDIMIENTOS



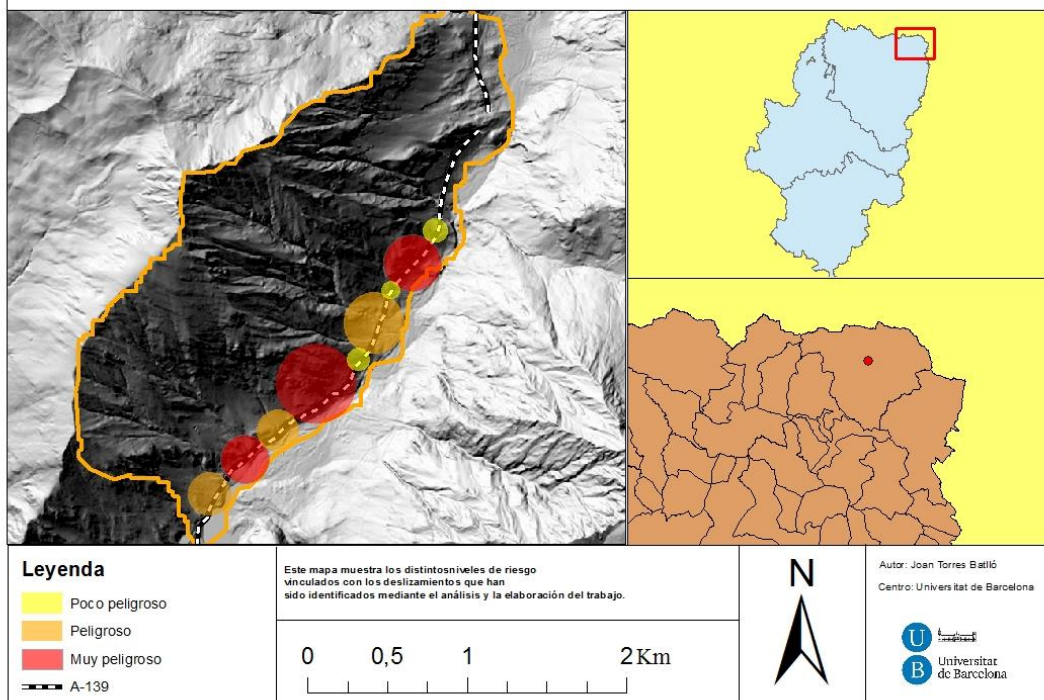
MAPA DE PELIGROSIDAD EN DESLIZAMIENTOS

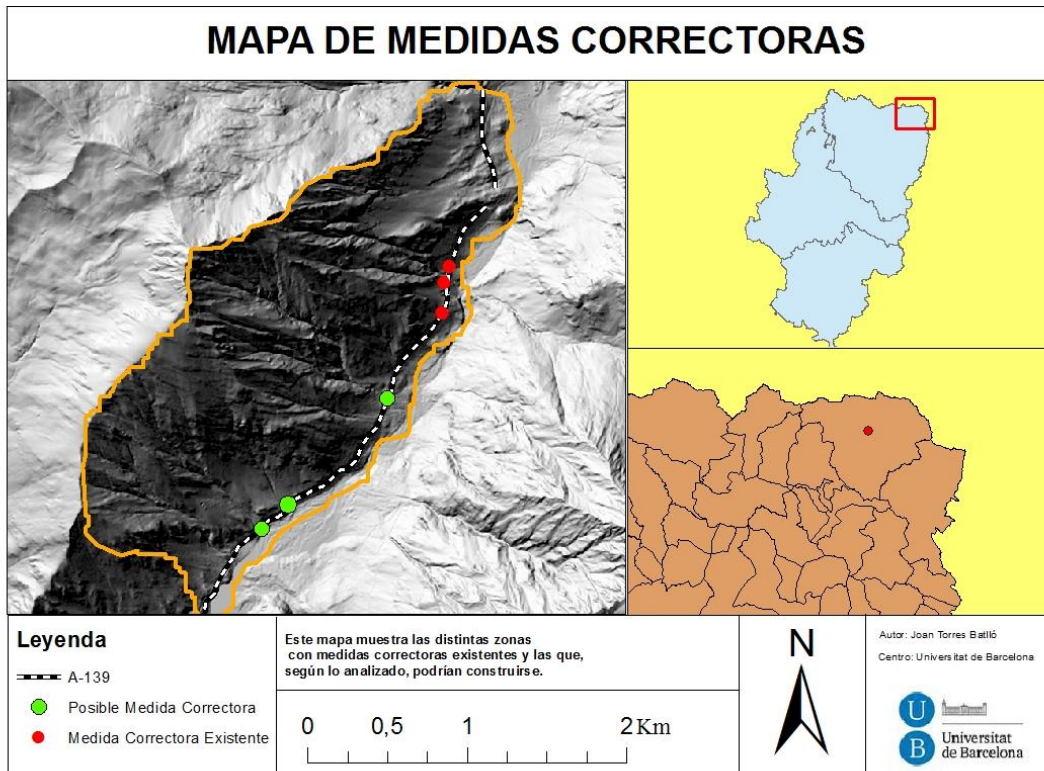


MAPA DE VULNERABILIDAD EN DESLIZAMIENTOS



MAPA DE RIESGOS





6. Conclusiones

El análisis llevado a cabo ha permitido determinar las zonas más peligrosas y más susceptibles en relación al riesgo geológico de los deslizamientos y los desprendimientos.

Como se observa en la cartografía resultante (5), en general, todas las zonas del área de estudio son peligrosas. La determinación de esta peligrosidad se ha establecido en función de una serie de factores:

- Desde un punto de vista geomorfológico, el área de estudio presenta una geomorfología característicamente vulnerable para la materialización de movimientos en las laderas. La pendiente ha sido uno de los factores más importantes para la determinación de las zonas más susceptibles a la generación del riesgo.
- Otro factor importante ha sido el vinculado con la geología. En este caso se han localizado los diferentes tipos de materiales que forman la ladera y se han dividido en función de la permeabilización de éstos. Los más impermeables (esquistosos) se han determinado con mayor grado de susceptibilidad que los más permeables (calcáreos).

- La altura ha sido el factor que ha permitido determinar la localización de la acumulación nival. Este fenómeno es de los más importantes para la generación de deslizamientos ya que es el generador de la acumulación de material que acaba cayendo ladera abajo.
- La vegetación también ha sido analizada. Las zonas con mayor enraizamiento y por lo tanto, mayor índice de vegetación, han sido las zonas con un nivel de susceptibilidad más bajo ya que permiten la cohesión entre el sustrato y el regolito que forma éste.
- El último factor que se ha tenido en cuenta ha sido el vinculado con los cursos fluviales. En este caso se han localizado dichos cursos, permanentes y torrenciales. Dependiendo de la cantidad de agua que discurre pendiente abajo generará más movimiento de material o menos debido al buen agente movilizador que es el agua.

Estos factores han sido los que se han analizado. Mediante el estudio, la relación sistémica que se ha llevado a cabo entre los diferentes factores y las características estructurales de la ladera, se han deducido las siguientes conclusiones:

- Se ha podido determinar en el área de estudio las zonas más susceptibles a los deslizamientos y desprendimientos. Esto permitirá decidir el establecimiento de las medidas de mitigación más adecuadas.
- La colocación de medidas correctoras en las diferentes zonas que presentan un grado de susceptibilidad más elevado podría intervenir en ayudar a un mejor funcionamiento de la carretera (sin cortes, etc) y de las localizaciones que une. Este mapa puede observarse en el apartado (5).
- La cartografía de riesgo obtenida ha de constituir un instrumento de gran utilidad para el planificador, tener un conocimiento práctico de los términos, conceptos y de las importantes consideraciones relacionadas con los deslizamientos y los desprendimientos juntamente con la cartografía del peligro de éstos en la zona de estudio.

7. Bibliografía

- AYALA-CARCEDO, Francisco Javier y OLCINA CANTOS, Jorge. Riesgos Naturales. 1ª Edición. Barcelona: Ariel Ciencia, 2002. 1512 pags. ISBN 84-344-8034-4
- TARBUCK J, Edward y LUTGENS K, Frederick. *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. 8ª Edición. Madrid: PEARSON, 2009. 700 pags. ISBN 978-84-205-4400-7
- BROTO APARICIO, Santiago. *El Valle de Benasque*. Segunda Edición. León: EVEREST, 1981. 224 pags. ISBN 84-241-4443-0
- ENRÍQUEZ DE SALAMANCA, Cayetano. *El Valle de Benasque*. Primera Edición. Madrid: Serie Pyrenaica, 1979. 128 pags. ISBN 84-300-1038-6
- JUSTE MOLES, Vicente. *Aproximación a la Historia de Benasque*. Primera Edición. Benasque: Antena del Pirineo, 1990. 359 pags. ISBN 84-404-9876-4
- *Unos tipos duros* [en línea]. Tratado clásico de tipografía: 28 Medidas de la página. [Consulta: 15 septiembre 2011]. Disponible en: <http://www.unostiposduros.com/?p=947>
- Instituto Geográfico Nacional [en línea] [Consulta 15 de Febrero 2014]. Disponible en: <http://www.ign.com>
- IGME [en línea]. Instituto Geológico y Minero de España. [Consulta 20 de Marzo]. Disponible en: <http://www.igme.es/internet/default.asp>
- SITAR [en línea]. SITAR ARAGÓN. [Consulta 12 de Abril]. Disponible en: www.sitar.aragon.es/
- Landsat [en línea]. LANDSAT USGS. [Consulta 28 de Marzo]. Disponible en: www.landsat.usgs.gov/
- Fundación Hospital de Benasque [en línea] Fundación Llanos del Hospital. [Consulta 25 de Marzo]. Disponible en: www.fundacion-hospital-benasque.org/
- Aragón. [en línea] Gobierno de Aragón [Consulta 12 de Mayo]. Disponible en: www.aragon.es/
- Benasque [en línea] Ayuntamiento de Benasque [Consulta 20 de Abril]. Disponible en: www.benasque.com/

8. Anexos

- Fotos (pueden conseguirse vía e-mail: mdtb2302@hotmail.com)
- http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/casi-250-personas-aisladas-aludes-benasque-panticosa_915679.html [Documento en línea]
- http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/desprendimiento-deja-luz-cerler-benasque_29508.html [Documento en línea]
- http://www.heraldo.es/noticias/aragon/huesca_provincia/2013/01/19/varias_carr eteras_cortadas_huesca_por_nieve_aludes_desprendimientos_219000_1101026.html [Documento en línea]
- <http://cerler-pirineos.es/2010/10/26/la-carretera-a-llanos-del-hospital-aludes-en-invierno-y-desprendimientos-en-verano/> [Documento en línea]

