

# **Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Pinarra (Pirineo central aragonés)**



**Daniel Ostalé Arilla**  
**Trabajo Fin de Grado**  
**Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio**  
**Universidad de Zaragoza**

# ÍNDICE

1. Introducción.....	4
2. Objetivos.....	5
3. Área de estudio.....	6
3.1. Localización.....	6
3.2. Características generales.....	7
3.2.1. Litología y geomorfología.....	7
3.2.2. Climatología e hidrología.....	8
3.2.3. Vegetación.....	10
3.2.4. Actividad y presencia antrópica.....	11
4. Metodología.....	13
4.1. Marco teórico.....	13
4.2. Criterios.....	15
4.3. Información utilizada.....	17
4.4. Proceso de elaboración.....	18
5. Resultados y discusión.....	20
6. Conclusión.....	29
7. Bibliografía.....	30

**Resumen:**

El objetivo final de este Trabajo Fin de Grado es la elaboración, mediante empleo de Sistemas de Información Geográfica, de una cartografía de probabilidad de arranque de aludes en el valle de Pinarra (Pirineo central aragonés), con la finalidad de completar, ampliar y apoyar la cartografía preexistente respecto a este tipo de fenómenos naturales en la cordillera ibérica.

Para cumplimentar dicho objetivo se han tenido en cuenta tres variables o criterios que intervienen de forma directa en el proceso de desencadenamiento de un alud: la ubicación de la isoterma de 0°C, la pendiente y la cobertura vegetal.

Por último, una vez explicado el marco teórico, la metodología y comentados los resultados, se exponen las conclusiones finales del trabajo poniéndolas en relación con los conocimientos adquiridos a lo largo de la realización del estudio.

**Abstract:**

The final aim of this project is the production of cartography of the probability of the start of avalanches in Pinarra valley, in order to complete, increase and support the existing mapping in relation to this natural process.

For that we have taken into account three variables or criteria which take part directly in the process of the avalanches' beginning: the altitude of the isotherm 0°C in each month, the slopes and the vegetation.

Finally, after explaining the theoretical basis, the methodology and discuss the results, conclusions has been explained about the acquired knowledge during time this project has been done.

## 1. Introducción

Un alud es una masa de nieve que se desplaza a gran velocidad desde la parte superior de una montaña, pudiendo ser generado de forma natural o por agentes externos a las condiciones del manto nivoso. Se trata de uno de los procesos geomorfológicos más destructivos de las áreas de montaña, y uno de los riesgos más importantes a tener en cuenta por la población que vaya a realizar actividades en zonas de montaña en los meses invernales.

Los Pirineos, como consecuencia de sus características propias de ambientes de alta montaña, presentan una mayor exposición a este tipo de riesgo. El desencadenamiento de aludes es uno de los riesgos naturales más frecuentes en este tipo de ámbitos. A pesar de que en nuestro país no tiene tanta importancia y son sido tan habituales como en otros países europeos (Francia, Suiza, Austria, Italia, etc.), cada vez son más frecuentes y su repercusión es cada vez más elevada, lo que nos obliga a catalogar a los aludes como un riesgo natural importante.

Dada la importancia creciente de este tipo de riesgos, se han realizado varios trabajos de detalle donde se han cartografiado zonas de riesgos en el Pirineo aragonés. Sin embargo, estos estudios no son muy abundantes, habiendo relativamente poca información en relación a este tipo de riesgo. Tan solo hay escasas zonas del Pirineo que cuentan con cartografía en donde se indiquen las zonas más probables para el desencadenamiento de aludes. Entre trabajos referentes al pirineo central aragonés realizados hasta la fecha pueden mencionarse los de (López Guarga *et al.*, 1997; Julián y Chueca, 1999, 2008; Julián *et al.*, 2001; Chueca y Julián, 2004; Julián y Chueca, 2012). ( Julián et al., J. L. Peña Monné, J. Chueca Cía, J. Zabalza Martínez, A. Lapeña Laiglesia e I. López Moreno, 2001).

En las últimas décadas se ha producido un aumento importante de personas que frecuentan el Pirineo aragonés, con motivo del auge de las actividades de montaña, lo que se traduce en un aumento de esquiadores y snowboardes, así como personas que practican el esquí de montaña y el uso de raquetas fuera de zonas controladas. Ante esta situación, se ha producido un aumento de accidentes relacionados con este tipo de eventos naturales, y por tanto, su importancia se ha acrecentado sensiblemente. (Leo y Cuchi, 2017)

En el siguiente trabajo se va a llevar a cabo un estudio de susceptibilidad al arranque de aludes en el valle de Pinarra (Pirineo central aragonés) mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica trabajando a una escala 1:25.000. Para ello se van a tener en cuenta tres factores importantes en el proceso de desencadenamiento de un alud; la cubierta vegetal, la pendiente y la isoterma de 0°C para los meses de noviembre a mayo.



**Figura 1.** *Chorro de la Pinarra. Autor: Daniel Ostalé Arilla.*

Este trabajo toma como guía metodológica estudios precedentes de cartografía de zonas probables de salida de aludes, ( Julián et al., 2001) (Chueca y Julián, 2010) tomando de ellos las variables a partir de las cuales se va a desarrollar la cartografía, a excepción de la variable radiación solar, la cual no se va a tener en cuenta en el presente trabajo por su carácter más especializado. Se ha escogido realizar el estudio, en el valle de Pinarra dado que es recorrido por parte de la carretera A-138, a la altura del túnel de Bielsa junto a la frontera con Francia.

## **2. Objetivos**

Este trabajo tiene como objetivo principal el análisis de la susceptibilidad de arranque de aludes en el valle de Pinarra, con apoyo de Sistemas de Información Geográfica que dará como resultado una cartografía raster, resultado de la combinación de las tres variables ya comentadas.

Como objetivo secundario, ir avanzando en la progresiva cartografía de zonas susceptibles a sufrir aludes en el Pirineo aragonés, con el fin de conseguir que una gran parte de nuestro territorio de alta montaña aragonés, tenga información relativa a este tipo de riesgo, dado que la información al respecto en este territorio no es muy abundante, a pesar de tener las características necesarias para que se produzcan abundantes avalanchas, como indican A. Julián y J. Chueca “Características propias de ambientes de alta montaña, es decir, lugares con gran energía de relieve y cubiertos de nieve una parte importante del año, lo que supone un ambiente ideal para el desencadenamiento de aludes” (A. Julián y J. Chueca, 1999)

De esta manera este tipo de trabajos puede ser una herramienta útil en los planes de ordenación del territorio, sirviendo de ayuda en la toma de decisiones respecto a la localización de defensas frente a este riesgo en particular. Como ejemplo, podrían servir de ayuda a la hora de escoger la localización idónea de una defensa frente aludes en una carretera.



Por otro lado, la cartografía elaborada podría ser objeto de uso por parte de excursionistas, deportistas de deportes de invierno o personal de servicios públicos (forestales, equipos de rescate, etc.) que se vean en la necesidad de recorrer por la zona de estudio en los meses invernales. Será por tanto un elemento más de prevención que estará al alcance de todos los públicos.

Además, si las personas que practican deportes de montaña demandan este tipo de servicios, impulsará la elaboración de más cartografía de este tipo de manera que será posible aumentar la superficie del territorio con información relativa para poder prevenir el riesgo de aludes.

### 3. Área de estudio

En el siguiente apartado se va a llevar a cabo una descripción la zona de estudio. En primer lugar, de forma general, localizando el valle de Pinarra en el contexto regional. En segundo lugar, se explicará las características de la zona en relación a la geomorfología, la hidrología y la vegetación, aspectos todos ellos con una importancia relevante en el proceso de desencadenamiento de aludes.

#### 3.1. Localización

El valle de Pinarra se encuentra en el norte de la Península Ibérica, dentro de la comunidad autónoma de Aragón. Se sitúa en la parte del Pirineo correspondiente a la provincia de Huesca, dentro de la comarca de Sobrarbe. A pesar de su cercanía al parque natural de Ordesa y Monte Perdido, no se encuentra dentro de sus dominios, por lo que no cuenta con ninguna protección en particular.

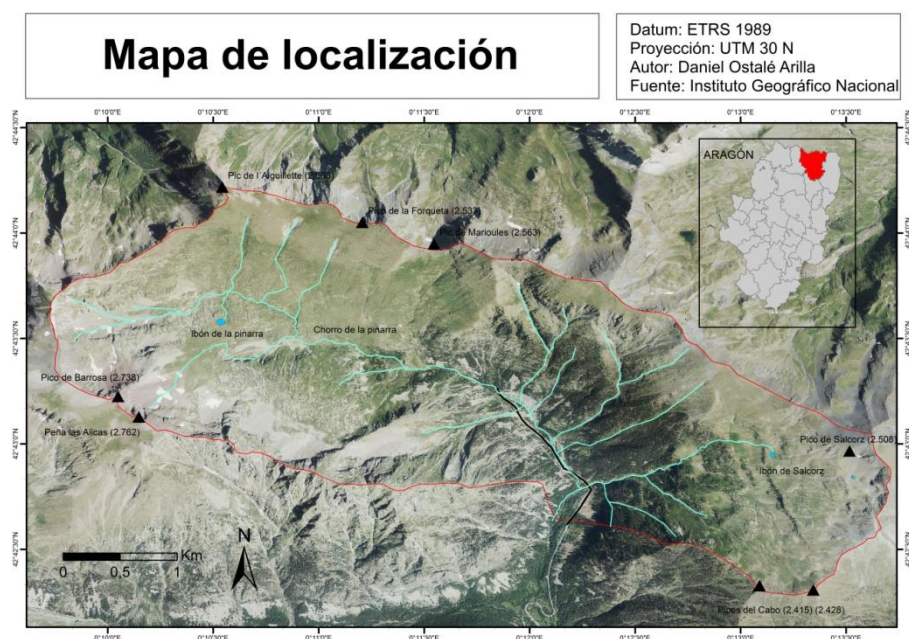


Figura 2. Mapa de localización de la zona de estudio. Elaboración propia.

Se trata de un valle transversal, dirección este-oeste con una longitud de 5 kilómetros y 10 km<sup>2</sup> de superficie. Se divide en dos pequeñas cuencas de diferente tamaño. En primer lugar, la de mayor tamaño se sitúa en el sector occidental y está recorrida en dirección oeste-este por el barranco del Chorro de la Pinarra. Cuenta también con un ibón, el ibón de la Pinarra o del Puerto Viejo, localizado en la zona noroccidental y siendo la fuente principal del barranco. En segundo lugar, la cuenca de menor tamaño situada en la zona oriental esta recorrida por el barranco de Salcorz, y al igual que la cuenca anterior, un ibón supone la fuente principal de este barranco, el Ibón de Salcorz.

El cauce de ambos barrancos actuaría como canal de los aludes de más entidad, como evidencia la colocación de defensas en la desembocadura de ambos barrancos para la protección de la carretera A-138.

Al este de la zona de estudio se encuentra la cota más alta, correspondiente al pico de Barrosa (2.762 metros). La altitud mínima (1.500 metros) coincide con el límite sur oriental del valle, lugar por donde transcurre la carretera A-138 y el barranco del Chorro de la Pinarra.

La carretera A-138 es el único elemento antrópico situado en el valle, sin embargo posee un importancia elevada al tratarse de una vía de comunicación entre dos países y siendo el riesgo de alud una de las principales razones por la que se corta el tráfico en época invernal.

Por tanto, unas condiciones climáticas propicias a la acumulación de nieve, un relieve abrupto propio de ambientes de alta montaña y la presencia de un elemento antrópico de interés como la carretera mencionada suponen factores suficientes para justificar la realización de un estudio de estas características en el valle de Pinarra.

### **3.2. Características generales**

#### **3.2.1. Litología y geomorfología**

La zona de estudio está situada en el Pirineo Axial, una zona compuesta por materiales paleozoicos plegados durante la orogenia herciniana. Debido a la alta resistencia de estos materiales se obtuvo como resultado los paisajes con más energía de relieve del Pirineo Aragonés. (J. L. Peña y M.V. Lozano, 2004)

Respecto a la litología del área de estudio está compuesta principalmente de “alternancia de pizarra-cuarcita, tramos de pizarra, cuarcitas y cuarzo-esquistos del Cámbrico-Ordovícico cuyo metamorfismo está vinculado al macizo granítico de Bielsa. Por otro lado, vinculados a la actividad del cuaternario, encontramos materiales más jóvenes que se presentan principalmente en forma de derrubios de ladera” (Ramo, 2018)

-Modelado glaciar.

Actualmente, tan solo encontramos glaciales activos dentro del Macizo de la Maladeta, donde encontramos cinco glaciares; Maladeta, Aneto, Coronas, Barrancs y Tempestades. A pesar de que la zona de estudio del presente trabajo no se encuentre ningún glaciar hoy en activo, la morfología de los relieves de la zona tiene claros restos de un modelado glaciar anterior,

correspondiente a los momentos de Máximo glaciar, en los que la mayor parte de la zona axial quedó cubierta por enormes masas de hielo que llegaron a alcanzar entre 300 y 500 metros de espesor y longitudes entre 22 (glaciar del Aragón) y 41 km (Glaciar del Gállego). (J. L. Peña y M.V. Lozano, 2004)

En cuanto a la zona de estudio, encontramos morfologías ligadas a la intensa acción de los glaciares. Resultado de ello es la propia forma del valle de Pinarra, así como la presencia de circos con divisorias suavizadas, donde se encuentra cubetas sobreexcavadas -sobre materiales pizarrosos y esquistos- por la acción del hielo. En ellas se encuentran los ibones de Pinarra y Salcorz.

También se puede observar, micromodelado erosivo, en forma de pulimentos, estrías, acanaladuras, rocas aborregadas..., indicativo de la dirección de fluencia del hielo. Como formas de acumulación predominan los arcos morrenicos y materiales tipo till.

#### -Modelado periglacial y nival

El retroceso de las masas glaciares aporta protagonismo a los mecanismos y procesos periglaciares y nivales sobre la acción del relieve en ámbitos como el de la zona de estudio, donde domina una topografía elevada ligada a unas duras condiciones climáticas que favorecen la acción modeladora del hielo y la nieve durante buena parte del año. Los procesos de crioclastia se manifiestan en la elaboración de derrubios de gravedad o canchales, cuya distribución espacial parece estar determinada por factores climáticos y lito-estructurales.

Además, muchas de las paredes de los circos o artesas glaciares se encuentran cortadas por canales de aludes por donde se desplazan masas de nieve desde la zona de alimentación hasta la de acumulación.

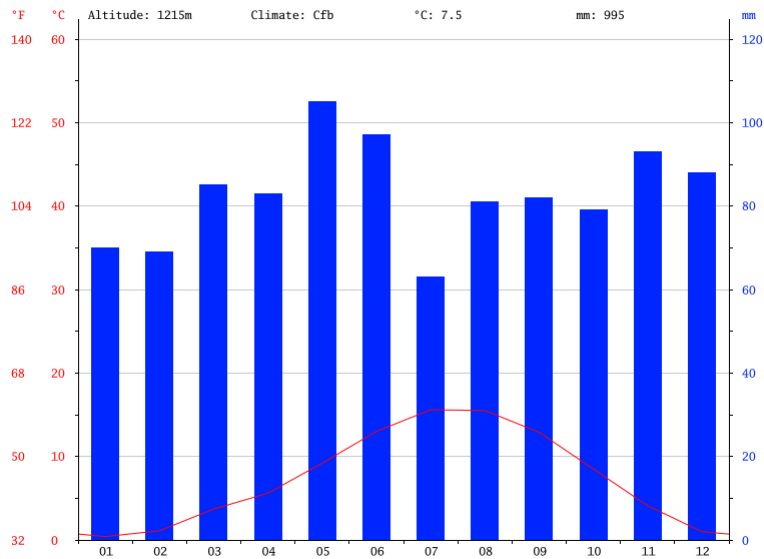
Finalmente, cabe mencionar los procesos desencadenados sobre vertientes, los cuales retocan el modelado estructural, glaciar y periglacial, especialmente favorecidos por la fácil alteración de las pizarras. Existen dos tipos de movimientos, movimientos en masa lentos (geli-soliflucción y reptación) y movimientos en masa rápidos (desprendimientos, coladas y flujos).

### **3.2.2. Climatología e hidrología**

Las características climáticas de la zona de estudio se encuentran muy condicionadas por la presencia de un relieve abrupto, generador de un importante gradiente altitudinal que influye tanto en las precipitaciones como en las temperaturas. Según la clasificación de Köppen nos encontramos ante un clima templado oceánico.

Las temperaturas son las típicas de un clima de montaña, bajas temperaturas medias, mínimas bajas, máximas moderadas y amplitud térmica anual considerable. (Palomo, 2007; en Navarri, 2010)





**Grafico 1.** Climograma de Bielsa. Fuente: Climate-data.org

La temperatura máxima se encuentra en los meses de julio y agosto, mientras que las mínimas en enero y diciembre. Las precipitaciones por su parte alcanzan máximos en abril y mayo, presentándose las precipitaciones más importantes en forma de nieve en diciembre y marzo. La temperatura media de Bielsa es de 7,5<sup>o</sup>C y una precipitación anual promedio de 995 mm.

Altitud (m)	Tª media (°C)	P total (mm)	Promedio días nieve
1.215	7,50	995,0	22,0
1.315	7,02	1.076,3	25,3
1.415	6,54	1.157,6	28,6
1.515	6,06	1.238,9	31,9
1.615	5,58	1.320,2	35,2
1.715	5,10	1.401,5	38,5
1.815	4,62	1.482,8	41,8
1.915	4,14	1.564,1	45,1
2.015	3,66	1.645,4	48,4
2.115	3,18	1.726,7	51,7
2.215	2,70	1.808,0	55,0
2.315	2,22	1.889,3	58,3
2.415	1,74	1.970,6	61,6
2.515	1,26	2.051,9	64,9
2.615	0,78	2.133,2	68,2
2.715	0,30	2.214,5	71,5
2.815	-0,18	2.295,8	74,8
2.915	-0,66	2.377,1	78,1

**Tabla 1.** Fuente: Ramo (2018), a partir de Chueca y Julián (2000)

De esta manera, observamos como los días de nieve aumentan con la altitud (efecto ya comentado anteriormente), siendo más significativo a partir de los 2.000 metros e intensificándose a partir de los 2.500 metros de altitud.

Además, es importante conocer el número de días que permanece el manto nivoso en la superficie antes de que se produzca la fusión de esta. Para ello se ha utilizado la estimación llevada a cabo por J. Chueca utilizando los pisos derivados del análisis de los geocomplejos

morfodinámicos realizada en la alta Ribagorza (Chueca,1993), por lo que debido a la proximidad con la zona de estudio se puede considerar extrapolable. Los tres geocomplejos morfodinámicos son el subnival, el alpino y el subalpino.

-En el geocomplejo morfodinámico subnival, ubicado por encima de los 2.400 m de altitud, la cobertera nival permanece entre 190 y 200 días al año.

-El geocomplejo morfodinámico alpino, cuyo rango altitudinal se encuentra entre los 1.750-1.900 m y los 2.400 m de altitud, el manto nivoso está presente entre los 140 y 160 días al año.

-Por último, el geocomplejo morfodinámico subalpino, comprendido entre los 1.400 m y los 1.750-1.900 m de altitud, la nieve tan solo está presente entre 80-100 días.

Cabe mencionar que no hay diferencia en la génesis de aludes/avalanchas entre los diferentes pisos, el proceso no muestra diferencias en función de la altitud (Chueca, 1993)

Respecto a la hidrología de la zona, se organiza en dos cuencas principales. La primera de ellas es el chorro de la Pinarra, en donde desembocan barrancos menores a derecha e izquierda del cauce principal, encontrando un mayor número de ellos en la margen izquierda. En esta parte del valle, se sitúa el Ibón de la Pinarra. La segunda esta drenada por el barranco de Salcorz, el cual desciende de manera más brusca que el primero, debido a la fuerte pendiente de esta zona del área de estudio. También encontramos en esta zona un ibón con el mismo nombre que el barranco, el ibón de Salcorz.

### **3.2.3. Vegetación**

La cubierta vegetal se encuentra condicionada por las variaciones en la topografía del valle, que cambian las condiciones de vida en las distintas partes del valle, y que favorece o perjudica la existencia de un tipo de vegetación u otro, en función de distintos factores como las temperaturas, las precipitaciones o la dirección del viento.

Como consecuencia encontramos gran diversidad, dominando el bosque denso en las zonas bajas, para dar paso al pasto y matorral en zonas intermedias, y situándose la roca desnuda en zonas de mayor altitud, fruto de un proceso de degradación gradual.

Cada tipo de vegetación mencionado se puede agrupar en los distintos pisos bioclimáticos siguiendo la clasificación y descripción llevada a cabo por Chueca (1993)

-Piso alpino. Se encuentra a partir de los 2.200-2.300 m aunque el límite entre este y el piso inferior tiene variaciones en función de la exposición y la orientación de la ladera. Son dominantes en este piso las grandes extensiones de pastizales alpinos y la roca desnuda. A su vez, podemos encontrar una subdivisión dentro del piso alpino.

-Horizonte alpino superior, situado a partir del 2.800 m caracterizado por la práctica ausencia de suelos.

-Horizonte alpino inferior, ubicado entre los 2.200-2.300 m y los 2.800, dentro del cual encontramos a su vez tres divisiones:

-Praderas alpinas. Aparecen dependiendo del grado de desarrollo del suelo, la altitud, la pendiente y la orientación. La especie dominante es la *Festuca eskia*. Cabe destacar, que en lugares con pendiente más elevada y a medida que aumenta la altitud, los pastizales se van alternando con la presencia de roca desnuda y especial abundancia de lastón. (Navarri, 2010)

-Canchales y roquedos, en donde podemos encontrar pequeñas poblaciones de *Crepis pygmaea*, *Rumex scutatus* o *Pritzelago alpina*, así como endemismos del Pirineo como la *Saxifraga media*.

-Escarpes verticalizados, espacios donde la roca domina sobre la vegetación. Los podemos encontrar de forma más abundante en la zona noreste del valle.

-Piso subalpino. Se encuentra entre los 1.500-1.700 y los 2.200-2.300 m, supone el borde límite altitudinal de la vegetación arbórea. En este piso de vegetación, son abundantes las formación de *Pinus uncinata* y comunidades de matorrales, en su mayoría *Rhododendron ferrugineum* y *Vaccinium myrtillus*, ubicados sobre pastos de *Festuca scoparia*. Respecto a la distribución en el área de estudio de este tipo de vegetación, se puede encontrar grandes zonas de pasto en las laderas de la margen izquierda del barranco, en la parte superior del valle. A medida que se pierde altura, comienza la presencia de matorral. Tras el matorral y a medida que seguimos descendiendo, la presencia del estrato arbóreo comienza ser más abundante, encontrando formaciones de bosque abierto y matorral.

-Piso montano. Situado por debajo de los 1.500-1.700, cuenta con una cobertura arbórea y arbustiva importante, destacan el boj y comunidades de *Pinus uncinata* y *Pinus Sylvestris*.

#### **3.2.4. Actividad y presencia antrópica**

Por último, se va a comentar la actividad antrópica existente en el área de estudio, el valle de Pinarra. La mayor evidencia es la localización de un tramo de la carretera A-138, concretamente es el lugar donde comienza el túnel de Bielsa. En dicha carretera se encuentran varias defensas antialudes a los pies de distintos barrancos que tienen su desembocadura a la altura de la misma, lo que pone en riesgo a esta en condiciones propensas al desencadenamiento de aludes.



**Figura 3 y 4.** Defensas contra aludes en la carretera A-138. Autor: Daniel Oсталé Arilla.

Por otro lado, es frecuente la práctica de senderismo y barranquismo en la zona del barranco del chorro de la Pinarra. El senderismo se practica, tanto en verano (cuando la afluencia de público es mayor) como en invierno.

En cuanto a actividades económicas, únicamente hay presencia del sector primario, por el uso de ganadería vacuna de los pastos de la parte media alta del valle, y del sector terciario, por la presencia del turismo de montaña. Cabe destacar, que es el sector del turismo el más importante, siendo este el principal sustento de la población de las localidades de la zona.

## **4. Metodología**

En el siguiente apartado se detallará la bibliografía de los diferentes estudios relacionados con el fenómeno de los aludes de nieve, tanto en España como en otros países. Además, se llevara a cabo una explicación teórica de los diferentes tipos de aludes que podemos encontrar. Por último, se expondrá la metodología seguida en el presente trabajo para llevar a cabo la cartografía de riesgo de aludes en el valle de Pinarra, mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

### **4.1. Marco teórico**

Como se ha comentado anteriormente, un alud es una gran masa de nieve que se desplaza a gran velocidad desde la parte superior de una montaña hasta una zona inferior, este puede ser producido de manera natural o por un elemento externo.

Los tres tipos básicos de aludes que tienen lugar en el Pirineo altoaragonés son; los aludes de nieve suelta, los aludes de placa y los aludes de fusión. A su vez, como se ha comentado, se puede diferenciar entre aludes espontáneos o provocados por un elemento externo.

#### **Aludes de nieve suelta**

También llamados aludes de nieve fresca, se producen cuando el peso de la masa de nieve cede ante la fuerza de la gravedad. Se originan tras grandes nevadas que acumulan importantes espesores de nieve en espacios de tiempo relativamente cortos. Son muy espectaculares dada la velocidad y dimensión que alcanzan, por lo que es el tipo de alud más devastador.

Sin embargo, no es muy común en las montañas pirenaicas, a diferencia de otras montañas de latitudes más elevadas como los Alpes. A pesar de ello, encontramos varios registros de este tipo de alud en el pirineo. El alud que tuvo lugar en el balneario de Panticosa en febrero de 1915, en Arañones en 1917 u otros más recientes como los que dañaron el refugio de Respumoso en 2002 y 2015. No obstante, a pesar de ser muy destructivos, no se tiene constancia de víctimas a causa de este tipo de alud. (Leo y Cuchi, 2017)

#### **Aludes de placa**

Este tipo de aludes se produce cuando una superficie de nieve compacta o placa se desprende del resto del manto de nieve deslizándose sobre el suelo o la nieve. Son los aludes más comunes en el Pirineo oscense y también los que más víctimas producen, al ser consecuencia normalmente de una sobrecarga en el manto nivoso por parte de esquiadores, senderistas o alpinistas. Estos además se pueden subdividir en aludes de placa seca y húmeda. Los primeros tienen lugar en invierno, mientras que los segundos en primavera, pudiendo localizarse en cotas bajas llegando a alcanzar localizaciones por debajo de la línea de nieve.

## Aludes de fusión

También conocidos como aludes de nieve húmeda, tienen lugar cuando se produce un ascenso de las temperaturas o por presencia de precipitaciones, especialmente en pendientes expuestas al sol. Dada su naturaleza su velocidad no es elevada (20 a 60 km/h) y pueden tener lugar en zonas de escasa pendiente. Se producen principalmente en el final de la temporada invernal, aunque hay registros de este tipo de aludes en enero, como el ocurrido en el corredor de Las Fites en Benasque.

El recorrido de un alud se diferencia en tres partes que se van a explicar a continuación.

### Zona de comienzo o arranque

Se denomina corona, línea de fractura o cicatriz de coronación en los aludes de placa, y punto de inicio en los de nieve suelta. Es el lugar donde la nieve pierde la estabilidad y comienza a moverse. En ocasiones esta zona de comienzo es clara y bien definida, sin embargo, otras no es tan claro.

### Zona de recorrido

Lugar situado inmediatamente después de la zona de arranque que conecta dicha zona con la zona de llegada. Representa la parte principal de la superficie por la que transcurre una gran avalancha, sin embargo, en las avalanchas de menor tamaño su límite está peor definido. Se trata de la zona donde el alud alcanza su mayor velocidad y por tanto su mayor poder de destrucción.

### Zona de llegada

Lugar donde el alud pierde rápidamente su velocidad y se produce la deposición de los elementos que arrastraba. (Ramo, 2018)

El estudio de los aludes tuvo su origen en países Europeos donde los sucesos y daños provocados por estos eventos eran más frecuentes que en nuestro país, dada su localización en ambientes de alta montaña o por su latitud. De esta manera “en Suiza los estudios se iniciaron en la segunda mitad de los años 1930 si bien es a partir de los 1950 que se empezó a progresar. En Austria, fue a raíz de un periodo de grandes avalanchas en 1951 y 1954 que se iniciaron los estudios. En Noruega en el año 1998 se celebró el 25 aniversario del inicio de las investigaciones sobre avalanchas de nieve. En Francia se iniciaron en 1977”. (Surinach, 2000)

En España, el estudio de los aludes fue prácticamente nulo hasta la década de los años 80, ya que tan solo se tenía constancia de ciertos eventos documentados relacionados con aludes. Fue Cruz (1987) quien alertó en España por la escasa importancia que se tenía de este tipo de fenómenos, tanto en la planificación de nuevas infraestructuras como por el poco conocimiento que los usuarios de montaña tenían de él. (Navarri, 2010)

En las décadas siguientes, las comunidades de Aragón y Cataluña comenzaron a realizar proyectos para llevar a cabo estudios relacionados con el estudio de la dinámica de los aludes.



De esta manera, la Comunidad Autónoma de Cataluña comenzó a realizar los primeros estudios por medio del Servei Geologic de Catalunya y la Universidad de Barcelona a través del proyecto “Estudi del risc d’allaus al Pirineu”. Este proyecto se centraba en la previsión tanto espacial como temporal de los aludes, así como la predicción de boletines de peligro de avalanchas. (Surinach, 2000)

En Aragón, las primeras publicaciones también se remontan a los años 80, sin embargo, esta comunidad autónoma no contaba con una institución que los coordinara. Los primeros estudios vinieron de la mano de los servicios forestales del Estado “como antecedentes del conocimiento de las zonas peligrosas de aludes en el Pirineo aragonés cabe citar los trabajos de los servicios forestales del estado en los valles del Aragón y del Gallego (cuerpo de ingenieros y de montes) y la tesis de Pablo Muñoz de 1988” (Ríos, 2004)

No es hasta el cambio de siglo cuando se produzca un aumento considerable en la cantidad y calidad de las publicaciones relacionadas con el riesgo de los aludes de nieve. Este desarrollo viene, en gran medida, producido por la aparición de los sistemas de información geográfica. (Navarri, 2010)

No obstante, las diferencias entre Aragón y Cataluña siguen siendo visibles, “no ha existido hasta el momento una planificación coherente para dotar al territorio de Aragón de un estudio cartográfico completo y homogéneo similar a los realizados en los países del arco alpino o en Cataluña” (Leo y Cuchi, 2004b) (Navarri, 2010)

#### **4.2. Criterios**

A la hora de llevar a cabo el estudio de los aludes, siguiendo como referencia metodológica inicial el estudio que Chueca *et al* (2009) llevaron a cabo para la elaboración de cartografía en el alud desencadenado en abril de 2008 en el circo de Musales, se establecen una serie de criterios científicos que responde a dos tipos de variables.

- Variables directas o factores intrínsecos, son aquellas que dependen del tipo de terreno, por lo que son permanentes y susceptibles de ser cartografiadas. “ La mayor parte de los autores coinciden en señalar que las variables más importantes a considerar son la altitud, la pendiente, la morfología y rugosidad del terreno, la vegetación existente y la orientación” (Palomo, 2007)
- Las variables indirectas o factores extrínsecos son aquellas vinculadas a las condiciones nivometeorológicas, es decir, independientes del terreno, con variaciones importantes temporales y de difícil representación sobre un mapa. Las más significativas según Guyomarr’h (1996) en (Palomo, 2007) son la precipitación, la temperatura, el viento y el estado y evolución del manto nivoso.

En el presente trabajo, en el cual el objetivo es llevar a cabo la cartografía de zonas probables de arranque de aludes, se ha optado por utilizar las variables de tipo directo, al ser las más adecuadas para dicho objetivo. De esta manera, se va a proceder a explicar los criterios utilizados para llevar a cabo la cartografía, habiendo sido tomados de trabajos de referencia

como los de Chueca y Julián y Julian et al., 2001. ( Julián et al., J. L. Peña Monné, J. Chueca Cía, J. Zabalza Martínez, A. Lapeña Laiglesia e I. López Moreno, 2001) (A. Julián y J. Chueca, 1999):

-*La pendiente*. Las pendientes más favorables para el desencadenamiento de un alud por pérdida de estabilidad del manto nivoso son las comprendidas entre los  $28^{\circ}$  y  $45^{\circ}$  "(...) se considera necesaria una inclinación de al menos  $28^{\circ}$  para que la componente longitudinal del peso de la nieve supere las fuerzas de resistencia" (Julián et al., 2001).

Por debajo de ese umbral el manto nivoso permanece estable, sin embargo, no hay un límite inferior de seguridad preciso, ya que en otros estudios este límite se establece en los  $20^{\circ}$ - $25^{\circ}$  de pendiente mínima. (Navarri, 2010)

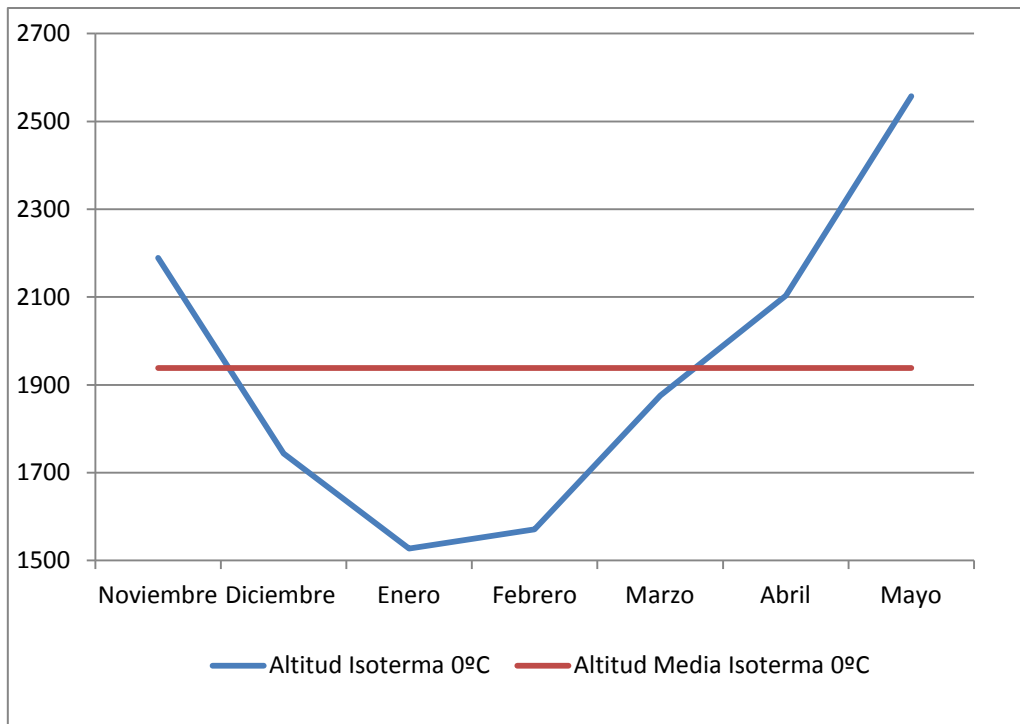
Por otro lado, se considera que en las pendientes de mayor de  $45^{\circ}$  la cantidad de nieve que se puede acumular no es suficiente para causar un alud de cierta importancia, debido a las continuas pérdidas causadas por la gran inclinación del terreno. Cabe decir, que la pendiente más favorable para el desencadenamiento de un alud se sitúa entre los  $30^{\circ}$  y  $40^{\circ}$  de inclinación. Este factor es uno de los más relevantes a la hora de llevar a cabo este tipo de estudios.

- *La cubierta del terreno*. Esta variable influye en el desencadenamiento de un alud en la medida en que los distintos tipos de cobertura del terreno influyen en la mayor o menor resistencia que el manto nivoso ejerce frente al deslizamiento.

De modo que la presencia de un tipo de vegetación u otro o la ausencia de esta, determina el modo en que la masa de nieve se va a comportar en una ladera determinada. Un sustrato rugoso, como por ejemplo un sustrato arbóreo, favorecerá el asentamiento y fijación de la nieve, mientras que uno no-rugoso, como el pasto, será más favorable para el desencadenamiento de un alud. "Por lo general, se consideran áreas potencialmente favorables aquellas cuya cubierta vegetal forme una superficie homogénea mientras que serán inhibitoras del arranque de alude aquellas que no cumplan esta propiedad" (Navarri, 2010)

De esta manera, zonas con escasa vegetación como roca desnuda o canchales, así como matorrales densos que formen una cubierta homogénea y pastos serán las zonas más favorables para el desencadenamiento de un alud. Por el contrario, zonas boscosas serán menos propensas a sufrir este tipo de evento, por el efecto estabilizador de la masa arbórea, no obstante, esto no excluye de riesgo totalmente a estas zonas. Además, estas zonas también pueden verse afectadas por aludes generados en lugares más elevados.

-*El límite altitudinal*. Esta variable se expresa a través de la isoterma de  $0^{\circ}\text{C}$ , es decir, el límite altitudinal teórico a partir del cual las precipitaciones se producen en forma de nieve. En el presente trabajo se tomarán los límites establecidos por Chueca (2004) en su estudio de los glaciares del macizo de la Maladeta. Los meses que se han tenido en cuenta a la hora de llevar a cabo el estudio han sido noviembre, diciembre, enero febrero, marzo, abril y mayo, para los que su isoterma de  $0^{\circ}\text{C}$  se sitúa a 2.189 m, 1.744 m, 1.527 m, 1.571 m, 1876 m, 2.103 m y 2.557 respectivamente. Además de la isoterma mensual, se ha calculado la media invernal que se sitúa en 1.938 metros.



**Gráfico 2.** Variación mensual de la isoterma de 0°C. Fuente: Chueca et al (2004). Elaboración propia.

#### 4.3. Información utilizada

En este apartado se va a exponer la información o los datos a partir de los que se ha elaborado la cartografía generada en este trabajo.

El Instituto Geográfico Nacional ha sido la fuente de información de la que se han obtenido una buena parte de los datos necesarios para llevar a cabo los mapas de probabilidad de arranque de aludes. De dicha fuente se ha sacado la siguiente información:

- Ortofotografías del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) del año 2006, con resolución de 50 cm a color, hoja 147 y escala 1:50.000. Estas ortofotografías han sido de gran ayuda en el proceso de cartografía de la cubierta vegetal.

- La capa de usos del suelo del SIOSE, utilizada como base, aunque posteriormente fue modificada con el fin de obtener un mejor nivel de detalle y precisión de la zona de estudio.

- Modelo digital del Terreno (MDT) de la hoja 147 a partir del cual se calcularon las distintas isotermas de 0°C y el modelo de pendientes.

Para todas las capas generadas se ha utilizado la proyección UTM zona 30 N y el sistema de coordenadas ETRS 89.

#### 4.4. Proceso de elaboración

A continuación se va a exponer el proceso de elaboración seguido para la realización de la cartografía expuesta en el presente trabajo. Para la elaboración de dicha cartografía se ha utilizado un Sistema de Información Geográfica, ArcGIS 10.3 de la empresa ESRI.

En primer lugar se llevo a cabo la elección del área de estudio, la cual fue elegida al ser un valle cercano a lugares ya cartografiados, además de contar con un elemento de interés como es la carretera A-138 a la altura del túnel de Bielsa. Dicha zona se estableció con ayuda del PNOA, siguiendo los límites naturales del propio valle de Pinarra.

Tras la delimitación de la zona, se procedió a la revisión y análisis tanto de bibliografía como de cartografía preexistente, con el fin de determinar los criterios y la metodología a seguir, tanto en el procesamiento de los datos, como en la elaboración de la cartografía.

Una vez delimitada la zona de estudio e incorporada en ArcGIS toda la información relativa a las variables que se van a utilizar, se procede a realizar los pasos del procedimiento metodológico necesarios para generar la cartografía de zonas probables de aludes en el valle de Pinarra.

Para la realización de las tres variables utilizadas; límite altitudinal de la isoterma de 0°C (tanto mensual como la media mensual), la cubierta vegetal y las pendientes se ha seguido el siguiente procedimiento.

-El cálculo del límite altitudinal de la isoterma de 0°C se ha elaborado por medio de una reclasificación del Modelo Digital del Terreno (MDT). En esta reclasificación se han mantenido las altitudes para cada mes, así como la media mensual.

Una vez reclasificado el raster, se realiza una reclasificación por medio de la extensión *Spatial Analyst* con la que se ha dividido en área de estudio en dos zonas; por debajo de la isoterma de 0°C, a la que se le asigna un valor de "0" y la zona situada por encima de la isoterma, que obtiene un valor de "1". De esta manera se suprimen los sectores por debajo de la isoterma a la hora de realizar el análisis multicriterio (el cual se explicara más adelante).

-Para la digitalización de la cubierta vegetal, como se ha comentado anteriormente, se descargó la capa de usos del suelo del SIOSE, sin embargo, esta ni la información ni el grado de detalle suficientes. De esta manera, se redigitalizó de nuevo con ayuda de la ortofoto del PNOA, visualizando el tipo de vegetación y digitalizando sobre la propia ortofotografía.

La digitalización de la cubierta vegetal se llevo a cabo en un modelo de datos vectorial, en formato shp. Dado que esta variable tenía que poder ser analizada en conjunto con las otras dos, fue necesario realizar una transformación a formato raster a través de las herramientas disponibles en ArcGIS dentro de la extensión *Spatial Analyst*. El resultado de la reclasificación de las coberturas vegetales es el siguiente:

- Pastizal, con un valor de “200”.
- Roca desnuda y pastizal, con un valor de “175”.
- Roca desnuda, con un valor de “150”.
- Bosque abierto y matorral, con un valor de “50”.
- Bosque denso, con un valor de “25”.

-El cálculo del valor de las pendientes se obtiene, al igual que en el cálculo de la altitud de la isoterma de 0°C, a través de una reclasificación del Modelo Digital del Terreno, mediante el uso de la función *slope* en la extensión *Spatial Analyst*.

Los intervalos en los que se han dividido las pendientes han sido obtenidos de la bibliografía ya comentada. Los intervalos son los siguientes: inferior a una inclinación de 25°, entre 25° y 30°, entre 30° y 40°, entre 40° y 45° y superior a 45°. Como resultado, obtenemos un área de estudio donde se han excluido del proceso de análisis aquellas zonas con pendientes comprendidas fuera del rango de 25° a 45°. De esta manera, el resultado de la reclasificación es el siguiente:

- Pendientes inferiores a 25°, con un valor de “0”.
- Pendientes comprendidas entre los 25° y 30°, con un valor de “100”.
- Pendientes comprendidas entre los 30° y 40°, con un valor de “150”.
- Pendientes comprendidas entre los 40° y 45°, con un valor de “100”.
- Pendientes superiores a 45°, con un valor de “0”.

A continuación se asignan la clasificación de probabilidad de arranque de aludes, la cual aparecerá en la leyenda del mapa, para dichos valores:

- Probabilidad baja para los sectores con valor “0”.
- Probabilidad media para los sectores con valor “100”.
- Probabilidad alta para los sectores con valor “150”.

Por último se realizó el análisis multicriterio de las tres variables utilizadas en proceso de delimitación de las zonas probables de aludes en el valle de Pinarra. De nuevo, a través de la extensión *Spatial Analyst* y por medio de la herramienta *Raster Calculator* (Calculadora Raster) se procedió a cruzar las tres capas por medio del lenguaje SQL. El resultado de la operación son 7 mapas de probabilidad de arranque de aludes, uno para cada mes escogido (de noviembre a mayo) y uno con la media mensual de todos los meses.

Para terminar cabe decir que se ha realizado cartografía complementaria, utilizando también el programa ArcGIS con el fin de apoyar y complementar los mapas principales. Estos datos han sido descargos del SITAR para llevar a cabo el mapa de localización de la zona de estudio.

## 5. Resultados y discusión.

Una vez realizada la localización del área de estudio, explicada la metodología y el marco teórico, se va a proceder a analizar los resultados de la cartografía de probabilidad de arranque de aludes en el valle de Pinarra para los meses de noviembre a mayo.

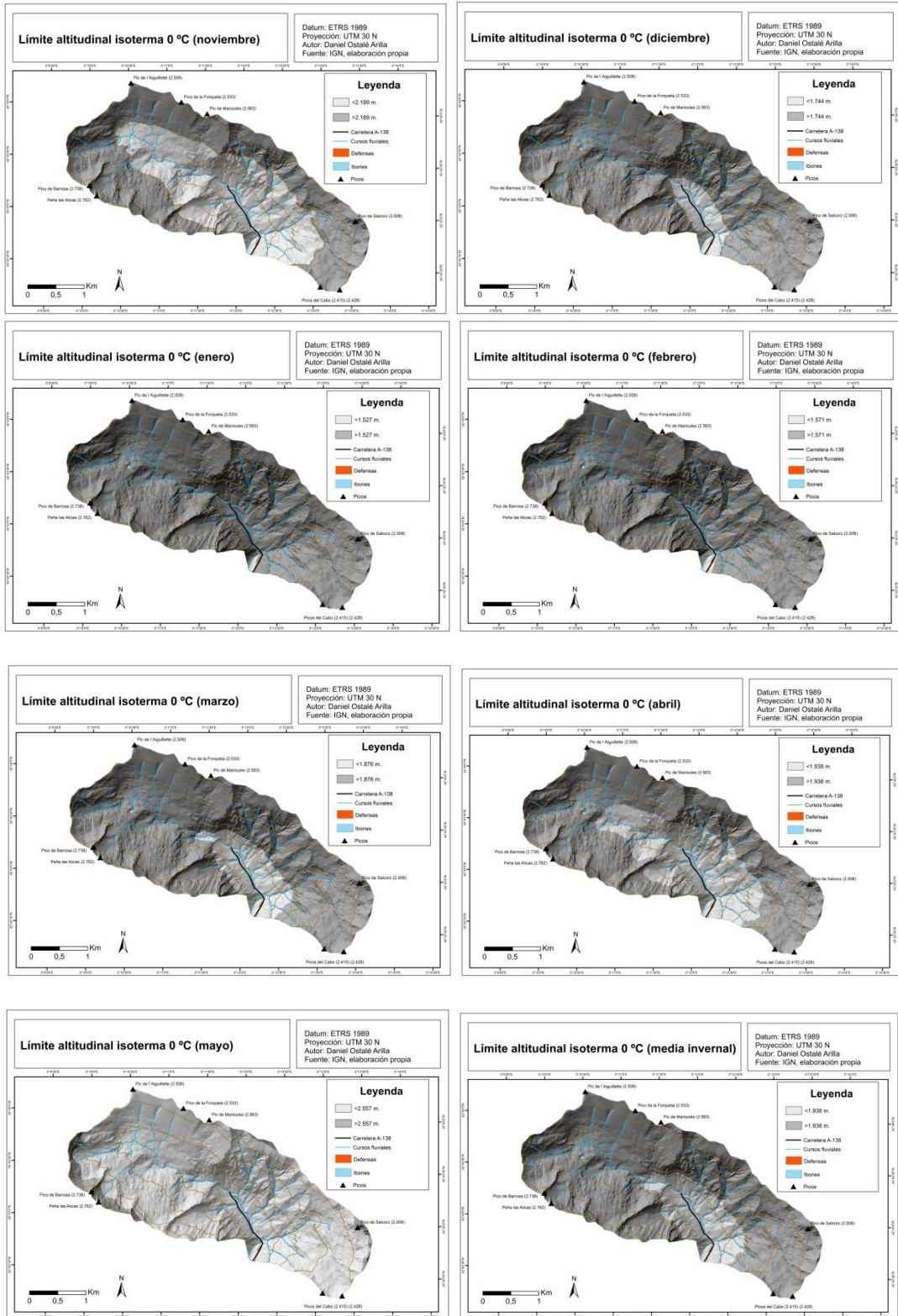
“La realización de dicha cartografía ayuda, de forma significativa, en la caracterización espacial de este tipo de fenómenos, muy presentes durante la temporada invernal en alta montaña aragonesa, además de ser una de las tareas prioritarias de los estudios sobre riesgo de avalanchas” (Navarri, 2010) Este tipo de estudios, sin embargo, no es una cartografía de zonas probables de aludes, sino únicamente una cartografía de probabilidad de arranque de aludes en la que el interés de la elaboración de dicha cartografía está en la facilidad de su producción a través los Sistemas de Información Geográfica. (J. Chueca Y A. Julián, 2010) Por tanto, la cartografía elaborada en este estudio permitirá y facilitará la creación de cartografías de zonas probables de aludes, en este caso concreto, en el valle de Pinarra, en futuros estudios.



**Figura 5.** Imagen de la margen izquierda del Chorro de la Pinarra en su cabecera. Se puede observar zonas de canchales y pastos de pendiente idónea para el desencadenamiento de aludes. Se trata, por tanto, de una zona propensa a este tipo de fenómenos. Autor: Daniel Ostalé Arilla.



A continuación se van a presentar los resultados y la cartografía obtenida para cada variable utilizada en este estudio.



En esta cartografía se representa la cota teórica a partir de la cual puede producirse precipitación en forma de nieve y acumulación de esta . Como podemos observar mayo es el mes con menos porcentaje de superficie bajo la isoterma de 0°C con tan solo el 4,9% del total, mientras que enero es el mes que mas superficie está bajo la isoterma de 0°C con un 99,62% del total.

Mes	Superficie (%)
Noviembre	56,71
Diciembre	92,82
Enero	99,62
Febrero	99,04
Marzo	87,08
Abril	69,24
Mayo	4,9
Media mensual	83,92

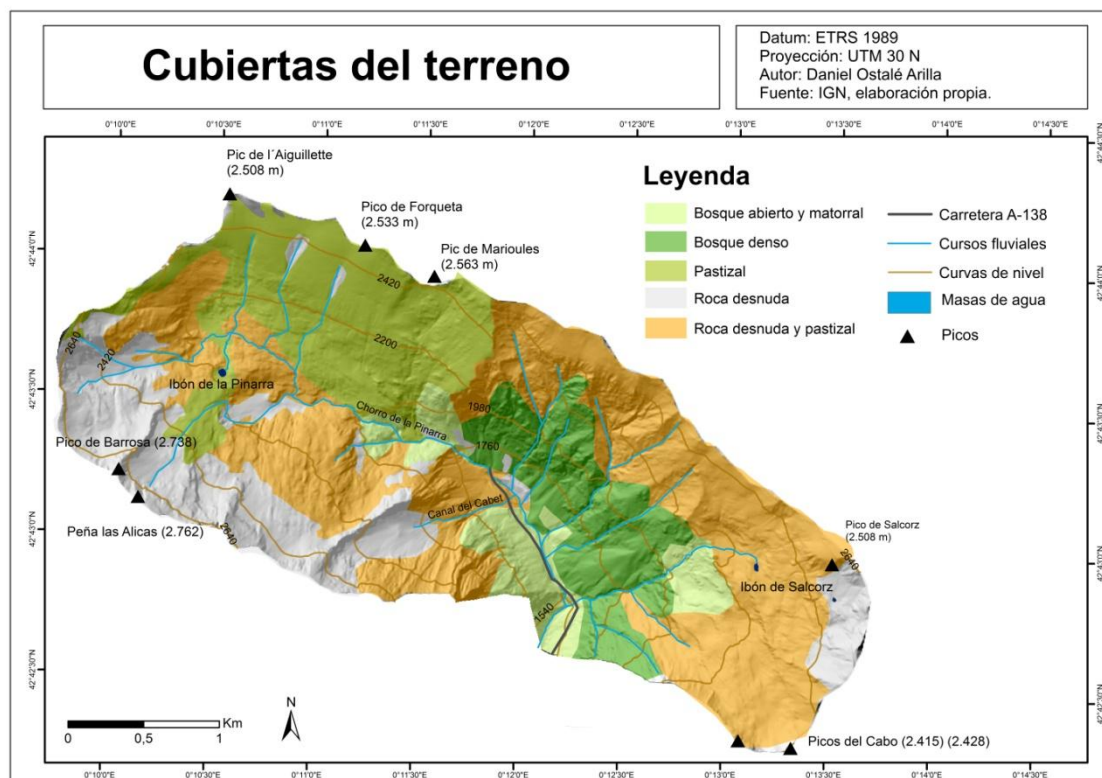
**Tabla 2.** Superficie de la cuenca bajo la isoterma de 0°C.

El segundo de los criterios es la cobertura vegetal. Los porcentajes de cada una de las categorías son los siguientes:

Cobertura	superficie (%)
bosque abierto y matorral	7,67
bosque denso	12,46
Pastizal	18,82
roca desnuda	18,45
roquedo y pastizal	42,61

**Tabla 3.** Superficie de los tipos de cobertura vegetal.

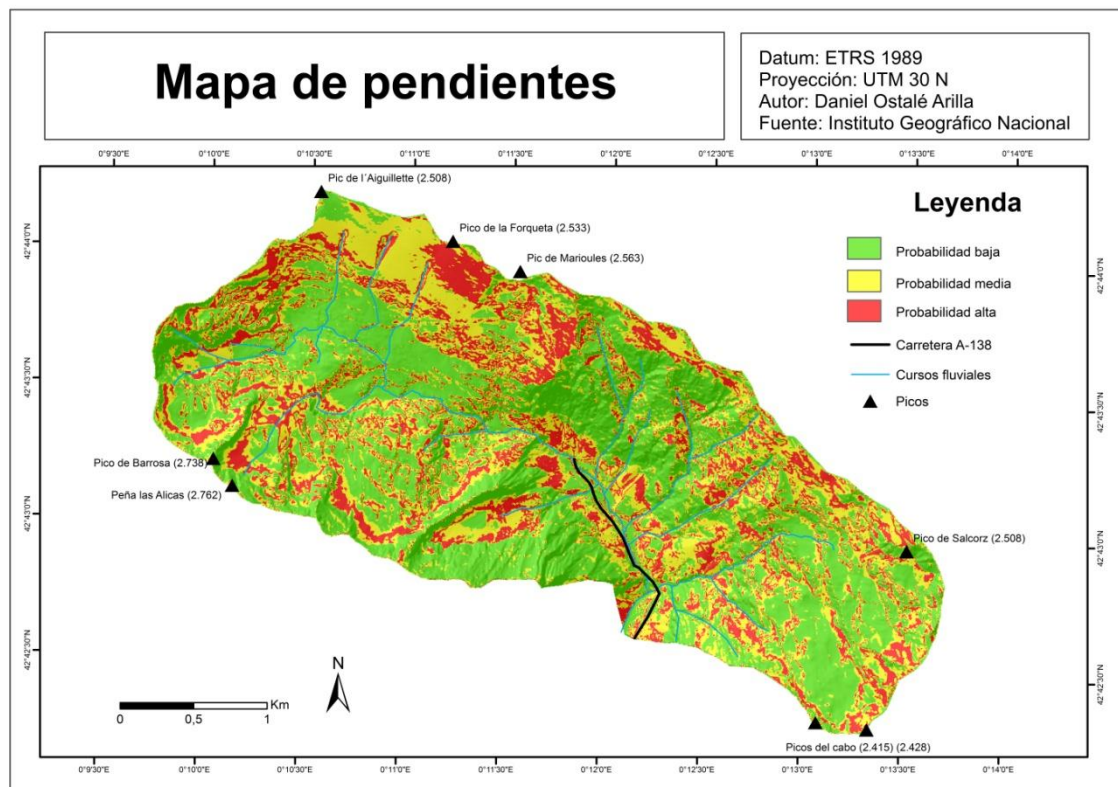
La mayor parte del valle está ocupado por formaciones de pasto y roca, existiendo zonas de predominancia de unas u otras. En la parte superior del valle existe una disimetría entre las dos márgenes del barranco. En la margen izquierda aparece una clara dominancia de pastos, localizados en una gran ladera que domina toda la zona noroeste del área de estudio. Por el contrario, la margen derecha presenta un relieve más abrupto y es ahí donde la cubierta da paso a zonas de roca desnuda o alternancia de roca y pastizal. Por el contrario, la zona de menos altitud está dominada por un área boscosa que va alternando bosque abierto y matorral con bosque denso.



La pendiente es otro de los criterios analizados en este estudio, cuyo nivel de probabilidad de arranque de aludes presenta los siguientes porcentajes de ocupación:

- Probabilidad baja: 48,09%
- Probabilidad media: 31,84%
- Probabilidad alta: 20,06

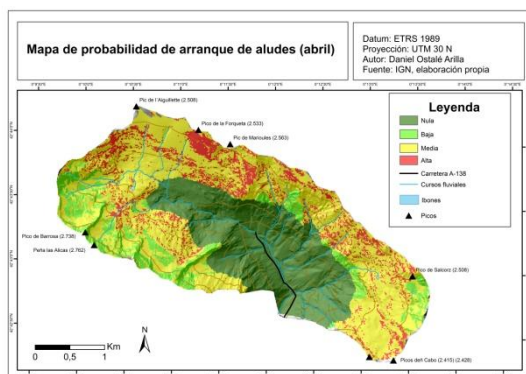
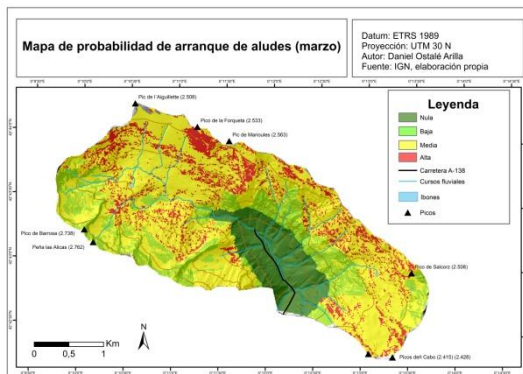
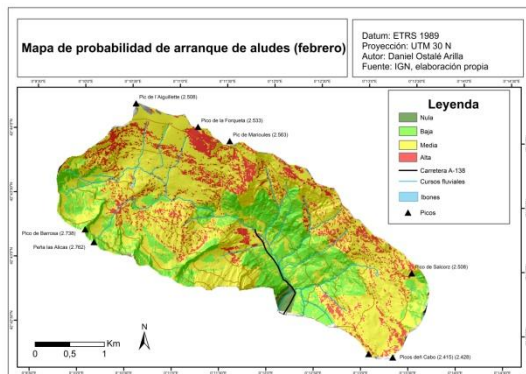
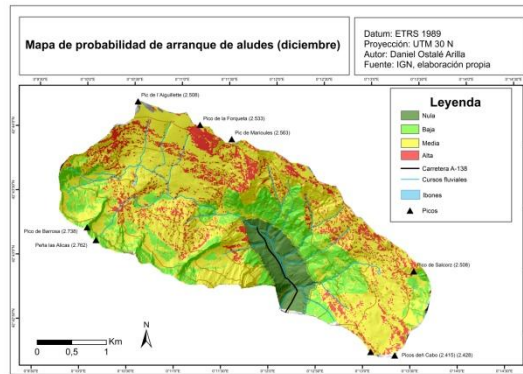
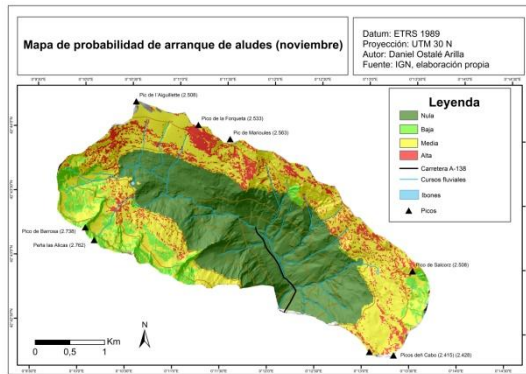
En cuanto a la distribución que presenta en el área de estudio, las zonas de probabilidad están situadas en las zonas altas de ambos lados del barranco, situadas debajo de las crestas y aristas, donde se produce una gran acumulación de nieve y la pendiente es la más propensa para el desencadenamiento de aludes. Sin embargo, quedan excluidas las zonas con pendientes mayores a  $45^{\circ}$ , zonas de crestas y aristas las cuales presentan pendientes muy elevadas que impiden la generación de aludes relevantes debido a la escasa acumulación de nieve por continuos desprendimientos.



Una vez llevado a cabo el análisis multicriterio mediante las tres variables correspondientes (cubierta vegetal, isoterma de  $0^{\circ}\text{C}$  y la pendiente) se ha obtenido la cartografía de probabilidad de arranque de aludes del valle de Pinarra. La cartografía final consta de un mapa para cada mes, ya que el análisis de las variaciones de la altitud de la isoterma de  $0^{\circ}\text{C}$  se realizó para todos los meses en los que fuera posible encontrar presencia de nieve en el valle. De esta manera, tras analizar la cartografía resultante, el mes con mayor probabilidad de arranque de aludes es enero, seguidos por febrero diciembre y marzo. Por el contrario, el mes con menor probabilidad e mayo, seguido de abril y noviembre.

A continuación se presenta la cartografía final del presente trabajo. En primer lugar, se va a exponer los meses de noviembre, diciembre, febrero, marzo y abril, y posteriormente, con unas dimensiones mayores se expondrán el mes de mayor probabilidad de arranque de aludes (enero), el menor (mayo) y la media invernal de los meses analizados.



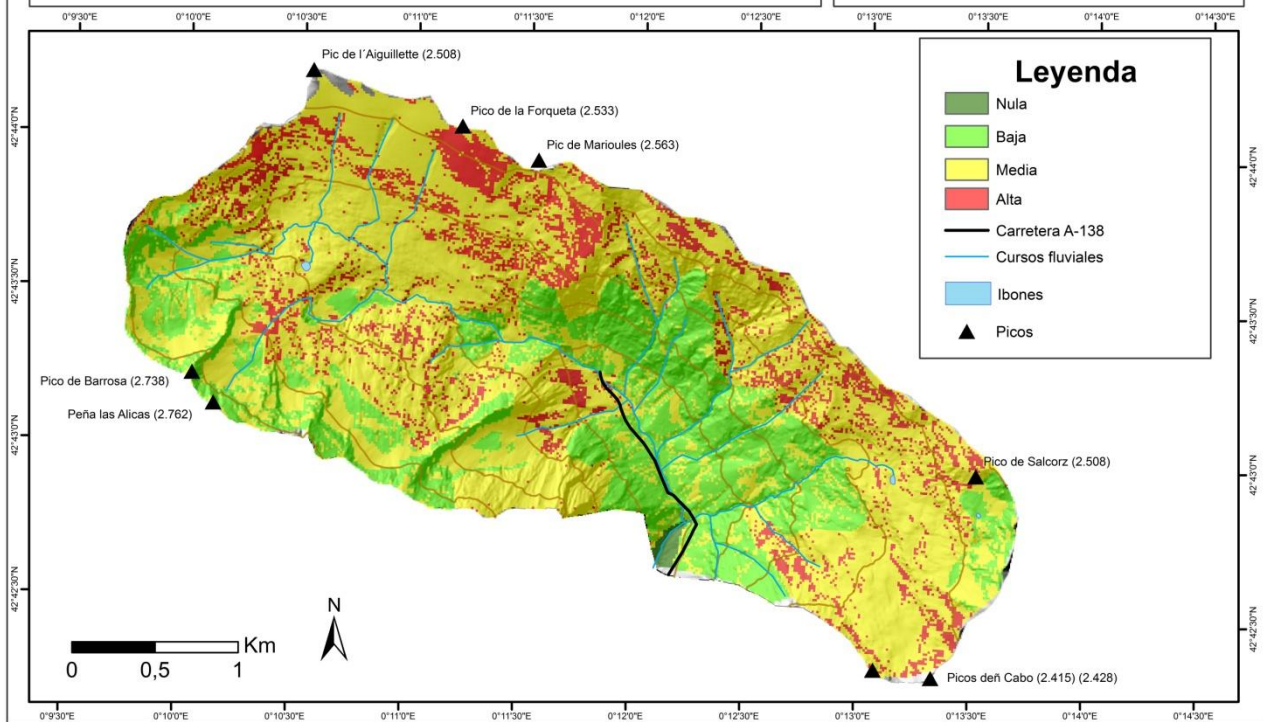


Las zonas con mayor probabilidad de arranque de aludes son las que se sitúan en altitudes intermedias en la zona del área de estudio, tanto en la margen izquierda como en la margen derecha del barranco. Las zonas altas son menos propensas al desencadenamiento de aludes, ya que, como hemos comentado anteriormente, como consecuencia de su elevada pendiente las purgas de nieve son continuas, por lo que la acumulación de nieve en dichas zonas no es suficiente. Se observa también como las zonas con menos pendiente, la probabilidad es baja, así como las zonas con cobertura vegetal boscosa, como es el caso de la zona que rodea la carretera A-138. Por último, las zonas del área de estudio localizadas por debajo de la isoterma de 0°C presentan una probabilidad nula.

Cabe mencionar que las superficies favorables al arranque de aludes aparecen muy fragmentadas y divididas como consecuencia de la variabilidad de los factores (como la cubierta vegetal o la pendiente) los cuales en pocos metros de distancia cambian completamente, así como al nivel de detalle de la cartografía realizada.

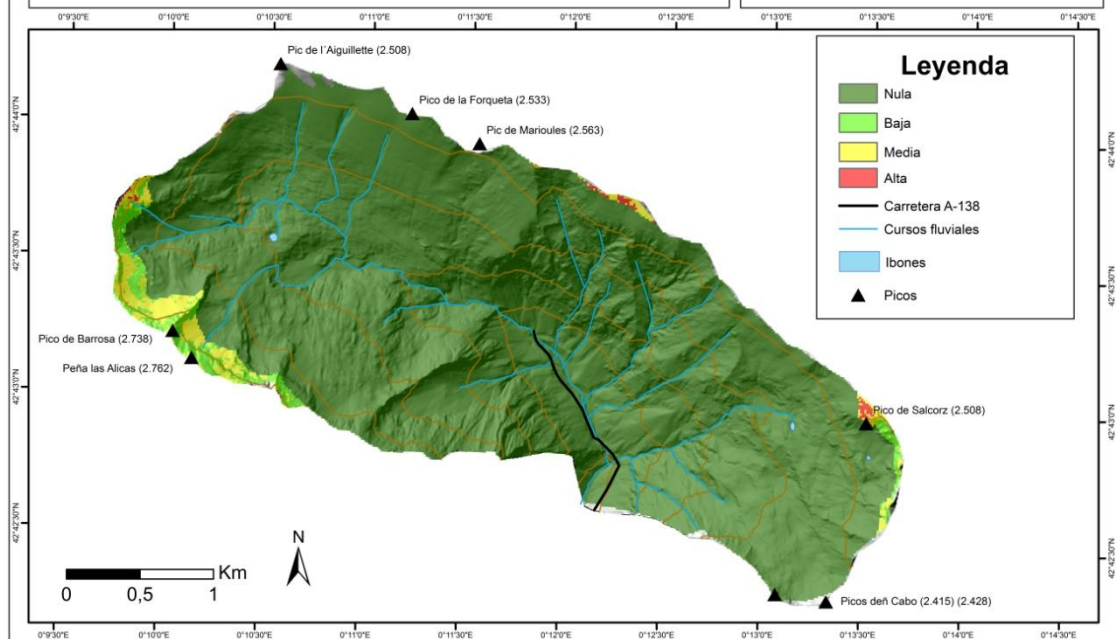
### Mapa de probabilidad de arranque de aludes (enero)

Datum: ETRS 1989  
Proyección: UTM 30 N  
Autor: Daniel Ostalé Arilla  
Fuente: IGN, elaboración propia

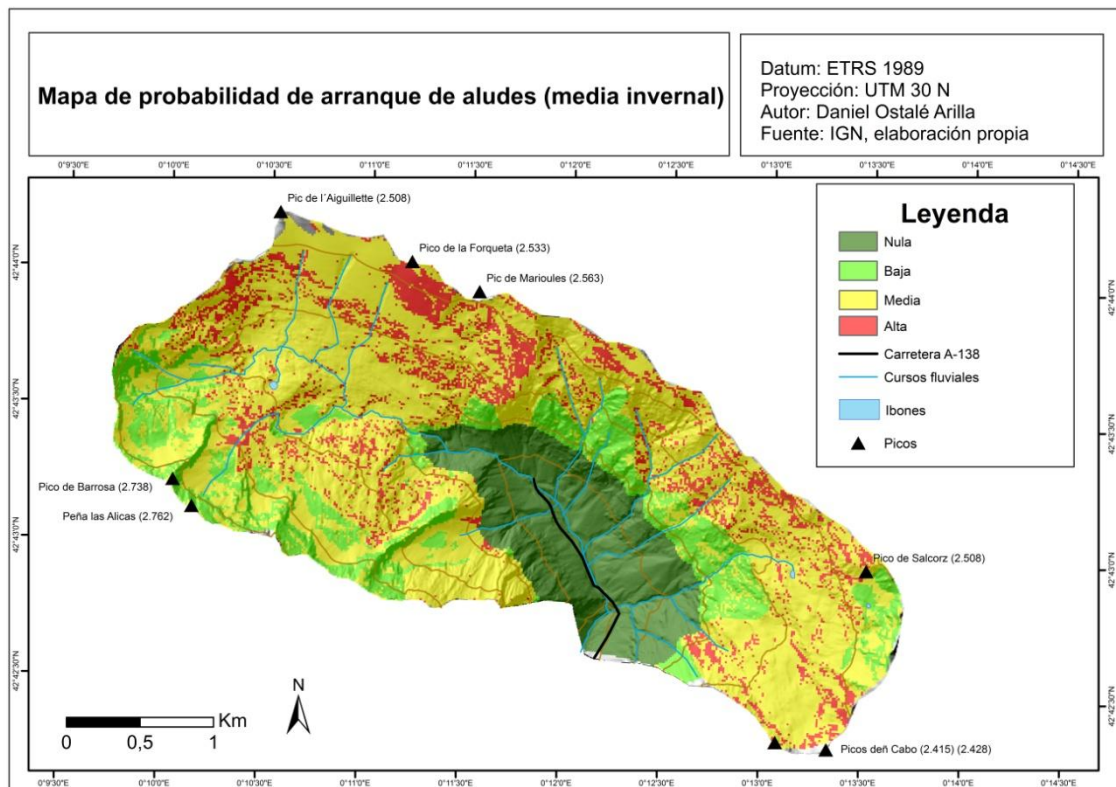


### Mapa de probabilidad de arranque de aludes (mayo)

Datum: ETRS 1989  
Proyección: UTM 30 N  
Autor: Daniel Ostalé Arilla  
Fuente: IGN, elaboración propia







Cabe mencionar, que gran parte de la zona de estudio está expuesta al arranque de aludes. Tan solo las zonas cercanas a las crestas, aristas y picos (zonas de pendiente mayor de  $45^{\circ}$ , las zonas boscosas y lugares con escasa pendiente presentan una probabilidad de arranque de aludes baja. Una gran parte del valle presenta una probabilidad alta, ligada a la existencia de pendientes medias (entre  $25^{\circ}$  y  $45^{\circ}$ ), así como la existencia de una cobertura del terreno favorable para el desencadenamiento de este tipo de fenómenos (pasto o roca desnuda).

Pese a que en el presente estudio no se ha realizado una cartografía donde se plasme la radiación solar de cada mes sobre el área de estudio, cabe mencionar que durante los meses primaverales cualquier actividad que se realice sobre laderas de orientación sur (donde la radiación solar será mayor que en las de orientación norte) conllevará un riesgo añadido debido a la mayor ocurrencia de aludes de nieve húmeda.



**Figura 6.** Ladera de pastos con alta probabilidad de arranque de aludes, tanto por la pendiente que presenta como por la cubierta vegetal. Está situada en la margen izquierda del barranco del chorro de la Pinarra. Autor: Daniel Ostalé Arilla.



**Figura 8.** Vista del valle de Pinarra y del ibón de Pinarra desde la ascensión al pico de Puerto Viejo. Se puede observar el cambio de cubierta vegetal condicionado por la altitud, de pasto a bosque abierto y posteriormente a bosque denso. Autor: Daniel Ostalé Arilla.

## 6. Conclusión

La cartografía de zonas probables de arranque de aludes a través de Sistemas de Información Geográfica es una herramienta importante para la caracterización espacial de este tipo de fenómenos, muy presentes en la temporada invernal en la alta montaña aragonesa. (Navarri, 2010)

Como resultado de este estudio se ha generado una cartografía que muestra la probabilidad de arranque de aludes a lo largo del valle de Pinarra. Este tipo de estudios supone la fase inicial para estudios posteriores donde se aborde el riesgo por aludes-teniendo en cuenta el factor humano- y en los que se delimiten zonas concretas que puedan estar afectadas por este tipo de fenómenos. En cualquier caso, en un primer paso necesario para favorecer la toma de decisiones respecto a medidas mitigadoras como soportes estructurales y defensas.

A pesar de que en los últimos años se ha avanzado considerablemente en la metodología y en el número de publicaciones referidas al fenómeno natural de los aludes, todavía es necesaria una homogeneización y coordinación a nivel nacional que ayude a mejorar en los métodos, así como una mayor actuación en los lugares más afectados por este tipo de procesos.

A pesar de que en España los daños producidos por este tipo de fenómenos no sean comparables a los generados en otros países europeos, está demostrado que su importancia es notable. Aun más en los últimos años en los que el turismo de montaña está en auge y cada vez atrae a un mayor número de usuarios. Por estas razones, es necesario llevar a cabo investigaciones que permitan incorporar estos estudios en proyectos de ordenación territorial de zonas de montaña.

Cabe destacar, que a pesar del esfuerzo de los diferentes colectivos, así como el grado de conocimiento que se tiene hasta el momento, aún es necesario profundizar mucho en esta temática para conseguir reducir su peligrosidad.

Para finalizar, remarcar que un alud es un fenómeno natural, que aunque a veces catastrófico, no deja de ser un elemento más del ecosistema de la alta montaña. De esta manera, es necesario abordar el tema con responsabilidad y respeto al medio. La prevención frente al riesgo de aludes comienza en la elección del lugar en el que se va a llevar cabo la actividad deportiva o la infraestructura antrópica.

## 7. Bibliografía

J. Chueca Cía y A. Julián Andrés, 2010. *Cartografía de zonas probables de salida de aludes en el Alto Gallego (Pirineo central aragonés) Mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica*. Huesca: s.n.

Julián et al., J. L. Peña Monné, J. Chueca Cía, J. Zabalza Martínez, A. Lapeña Laiglesia e I. López Moreno, 2001. Cartografía de zonas probables de aludes en el Pirineo aragonés: Metodología y resultados.. *Boletín de la Asociació de Geógrafos Españoles*, Issue 30, pp. 119-134.

Leo y Cuchi, 2017. *Los aludes en el alto Aragón: tipología, zonas de peligro, daños y víctimas*. *Institutos de Estudios Altoaragoneses.*, pp. 233-278.

A. Gómez Y J. Santos, 2010. Los aludes de nieve en el Alto Sil (Oeste de la cordillera Cantábrica, España). *Cuadernos de Investigación Geográfica*, Issue 36, pp. 7-26.

A. Julián y J. Chueca, 1999. Cartografía de zonas probables de aludes en el valle de Ordesa (Pirineo aragonés). *DIALNET*, pp. 73-86.

Chueca, J., 1993. Definición, funcionamiento y estructuración de geocomplejos morfodinámicos en la Alta Ribagorza aragonesa.. *Geographicalia*, pp. 31-53.

E. Leo y J.A. Cuchi, 2004b. *Accidentes por aludes en Huesca. Estado actual, estadísticas y análisis de sucesos recientes*.

J. Chueca y A. Julián , 2002. *Boletín Glaciológico Aragonés*. Huesca: Departamento de Geografía y Ordenación del territorio. Universidad de Zaragoza.

J. Chueca Y A. Julián, 2010. Cartografía de zonas probables de salida de aludes en el Alto Gállego (Pirineo central aragonés) mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, Issue 36, pp. 27-41.

J. Chueca, A. Julián y M. Palomo, 2008. *Aplicación de un análisis multicriterio a la delimitación de zonas probables de aludes (valle de Aguas Limpias, Pirineo central español)*. Cádiz, s.n.

J. L. Peña y M.V. Lozano, 2004. *Las unidades del relieve aragonés*, Zaragoza.

Melchor, S., 2016. *Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Vallibierna (Pirineo central aragonés)*, Zaragoza: Geografía y Ordenación del Territorio.

Navarri, H., 2010. *Estudio de aludes en la cuenca del Ixea (Pirineo central aragonés)* Zaragoza

Palomo, M., 2007. Los aludes en el Circo de Piedrafita (Pirineo aragonés): el evento del 8 de febrero ed 1996.. En: *Boletín Glaciológico Aragonés*,8. s.l.:s.n., pp. 61-83.

Ramo, J., 2018. *Cartografía de las zonas susceptibles al inicio de aludes en la cuenca del Barranco de Trigonero (Pirineo central aragonés) mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica.*, Zaragoza: s.n.

Ríos, S., 2004. *Situación de la cartografía de aludes en el Pirineo central*, s.l.: s.n.

Surinach, E., 2000. *Los aludes. Actuaciones para la reducción de su peligrosidad.*, s.l.: s.n.