

GRADO EN GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



**Universidad
Zaragoza**

Trabajo Final de Grado

**“ESTUDIO DE LA PROBABILIDAD DE ARRANQUE DE ALUDES EN EL VALLE DE
SALLENA, GISTAÍN (PIRINEO ARAGONÉS) MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”**

Alumno: SERGIU ANDREI AL-NITEI

Director: JAVIER CHUECA CÍA

Año Académico 2023-2024

Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio

ÍNDICE

1. Introducción.....	4
2. Objetivos.....	5
3. Área de estudio.....	5-12
3.1 Localización del área de estudio.....	6
3.2 Características generales.....	7
- 3.2.1 <i>Litología y geomorfología</i>	7-8
- 3.2.2 <i>Climatología e hidrología</i>	8-10
- 3.2.3 <i>Vegetación</i>	11-12
- 3.2.4 <i>Presencia antrópica</i>	12
4. Metodología.....	13-18
4.1 Marco teórico.....	13-14
4.2 Criterios escogidos.....	15-16
4.3 Fuentes de información utilizadas.....	16
4.4 Elaboración de las cartografías.....	16-18
5. Resultados y discusión.....	19-30
6. Conclusiones.....	31
7. Bibliografía.....	32

Resumen

En este trabajo se realiza un análisis cartográfico sobre la probabilidad del arranque de aludes en el valle de Sallena (Pirineo Aragonés) a partir del empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los criterios a tener en cuenta para valorar este fenómeno son: el valor de las pendientes, la cubierta vegetal de la superficie del terreno y las isotermas de 0°C para cada uno de los meses analizados. El resultado muestra distintos productos cartográficos, elaborados a escala temporal mensual y de media invernal, en los que se representa la probabilidad de arranque de aludes clasificada en las categorías nula, baja, media y alta para los diferentes sectores del valle de Sallena.

Abstract

In this work, a cartographic analysis is conducted on the probability of avalanche start in the Sallena valley (Aragonese Pyrenees) using Geographic Information Systems (GIS). The criteria to be considered for assessing this phenomenon are: the slope values, the vegetation cover of the land surface, and the 0°C isotherms for each of the analyzed months. The result presents various cartographic products, developed on a monthly and winter average temporal scale, which depict the probability of avalanche initiation classified into null, low, medium, and high categories for the different sectors of the Sallena valley.

Palabras clave: Probabilidad de arranque de aludes, Sistemas de Información Geográfica, cartografía, valle de Sallena, Pirineo Aragonés.

Key words: *probability of snow avalanches start, Geographic information Systems, cartography, Sallena valley, Aragonese Pyrenees.*

1. Introducción

Los aludes conforman uno de los procesos naturales gravitacionales más destructivos y peligrosos de las áreas de alta montaña, estos consisten en una porción de nieve que puede incluir una parte de la cobertura vegetal del suelo y que se desplazan ladera abajo, pudiendo ocasionar grandes daños debido a la cantidad de elementos naturales que arrastran y velocidad que pueden alcanzar hasta llegar a detenerse en zonas de muy baja o nula pendiente.

Según la RAE, un alud es “una gran masa de nieve que se derrumba de los montes con violencia y estrépito”, sin embargo, una definición más adecuada hacia un contexto geomorfológico es la proporcionada por AEMET, considerando a un alud como “una masa de nieve que se mueve con rapidez pendiente abajo, y que debe movilizar al menos 100 m³ de nieve y recorrer por lo menos 50 metros”.

El riesgo que tienen los aludes lo podemos enmarcar en tres tipos diferentes; aquellos que afectan a las zonas habitadas por seres humanos, vías de comunicación y otras infraestructuras mecánicas, los que pueden llegar a dañar las zonas naturales y los que perjudican directamente a las personas que desarrollan actividades deportivas de alta montaña.

Por lo cual, el tratar de gestionar el riesgo asociado con los aludes puede ser una ardua tarea para aquellos que traten de administrarlo debido a que es un problema multidisciplinar que reúne la elaboración de cartografías de las zonas de mayor riesgo, una predicción de los futuros fenómenos y la construcción de infraestructuras de defensa.

En nuestro país, el desencadenamiento de aludes tiene lugar en varias zonas de la cordillera ibérica (Cordillera Cantábrica, Sistema Central, Sierra Nevada, Pirineo, etc.) pero es en el Pirineo donde ocurren con mayor frecuencia debido a las características asociadas con la morfología y altitud.

Organizaciones como el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC) han aumentado el desarrollo y estudio de los aludes durante las últimas décadas, esto sumado al aumento de la popularidad de los deportes de montaña y a la mejora con el paso de los años de los Sistemas de Información Geográfica, hace que la información que se tenga sobre el aspecto geomorfológico de las zonas pirenaicas sea mayor y por tanto la predicción y estudio de los fenómenos causantes de los aludes sea de mejor calidad, el número de fallecidos durante los últimos años en las zonas de alta montaña también provoca que este interés por el estudio de los aludes incremente, con el fin de reducir este número de accidentes fatales.

El área de estudio del presente trabajo está ubicada en el Pirineo central, una zona fuertemente golpeada por los aludes a lo largo del año, más concretamente es en el Valle de Sallena, al noroeste de municipio de Gistaín, perteneciente a la comarca del Sobrarbe y limitando con Francia, donde se va a tratar de realizar un análisis sobre la posibilidad de arranque de aludes mediante el estudio e investigación de los factores y las causas condicionantes que dan lugar a este fenómeno.

Las principales variables en este estudio son la altitud del área de estudio, la cubierta vegetal presente, el grado de inclinación del terreno y aquellas zonas donde las precipitaciones se dan en forma de nieve (Isotherma 0º).



Figura 1: Vista del valle de Sallena desde el collado de Urdiceto

2. Objetivos

El objetivo del presente trabajo es el de realizar un análisis acerca de la posibilidad de arranque de aludes en el Valle de Sallena durante los meses más propensos al desarrollo de este fenómeno (noviembre a mayo). Durante el resto del año la probabilidad de que se produzca este fenómeno es muy baja debido a las altas temperaturas y a la poca cantidad de nieve acumulada.

Para realizar este análisis se han seguido una serie de objetivos de cara a contextualizar e informar sobre el área de estudio, por ello encontramos una delimitación en la que aparece demarcada de forma precisa el valle y los elementos topográficos más característicos e importantes (barrancos, picos, ibones, etc) con el fin de aportar información extra en las consecuencias de los posibles arranques de aludes.

Otros objetivos planteados en el trabajo son la elaboración de diferentes cartografías con el fin de mostrar más información del área de estudio.

Encontramos una cartografía de las pendientes presentes en el valle, pudiendo así saber cuáles son las zonas más susceptibles de desplazamiento de la nieve, otra dedicada a la representación de la diferente cubierta vegetal existente en la zona con el fin de aportar información acerca del tipo de suelo o vegetación presente y que sea capaz o no de interceptar el manto nivoso y una final dedicada a la representación de la Isoterma 0°C para cada mes de estudio y de la media invernal, pudiendo conocer a partir de que altitud las precipitaciones serán en forma de nieve en según qué lugares del valle de Sallena.

El objetivo principal por el cual se han realizado las cartografías previas es el de presentar información acerca de las posibilidades de arranque de aludes en el valle de Sallena, y puede ser de especial interés para prevenir accidentes causados por este fenómeno natural.

3. Área de estudio

Este apartado está enfocado a la caracterización y análisis del área de trabajo en la que está enfocado este proyecto, para ello se van a comentar aspectos relacionados con la ubicación concreta, condiciones climáticas, geomorfológicas y antrópicas y así contextualizar los posibles indicios de arranque de aludes.



Figura 2: Cabaña de Sallena y Punta Suelza

3.2 Características generales

En el siguiente apartado comentaremos con detalle los aspectos físicos con los que cuenta el Valle de Sallena, clasificándolos en; litología y geomorfología, climatología e hidrología, vegetación y presencia antrópica.

-3.2.1 Litología

En la zona Axial en el que encontramos las cumbres más altas del Pirineo, las cuales fueron consecuencia de “una elevación del basamento mediante cabalgamientos Alpinos dirigidos hacia el sur” (Williams, 1985; Muñoz 1992; Dereamond et al.,1985) a consecuencia de la antigua orogenia hercínica.

La zona de estudio está caracterizada por la presencia de rocas graníticas, pizarras, cuarcitas y areniscas principalmente. Estos materiales son muy resistentes, sin embargo, también son de muy fácil fragmentación por lo que es sencillo que se vean alterados por los procesos de meteorización crioclastia.

Este tipo de litología está ubicada mayoritariamente en la zona oeste, sur y norte de la zona de estudiada, acompañada generalmente de suelo desnudo, aunque también aparece en la zona central del valle acompañada de vegetación.

Cabe destacar la litología del barranco, compuesto en su zona superior por una serie de rocas calizas y pizarras, y por granito con biotita en su zona inferior.

Para la explicación técnica sobre litología en nuestra área de estudio. Hemos consultado información de las cartografías del INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, en concreto las hojas: 179 (Bielsa) y 147 (Liena).

Por ello, siguiendo el estudio realizado por A. JULIÁN ANDRÉS, J. CHUECA CÍA y J.L. PEÑA MONNÉ: “El relieve del alto Gállego (Pirineo Aragonés)” 2002, vamos a destacar dos tipos de modelados presentes en el valle: modelado glaciar, y modelo periglacial y nival.

- Modelado glaciar

Los glaciares son masas de hielo comprimidas, que han sido formados como consecuencia de la acumulación de masas y recristalización de nieve y que, al estar mucho tiempo sobre el mismo lugar tiende a convertirse en hielo, y que incluso puede llegar a fluir por los valles. La forma de nuestra área de estudio está

influenciada por periodos glaciares del Pleistoceno, dando lugar al circo presente en la actualidad, sin embargo, actualmente no encontramos la presencia de glaciares en la zona.

No obstante, la morfología glaciar cuenta también con ibones, estos consisten en lagos pirenaicos de origen glaciar que encontramos presentes en la zona de estudio, como el Ibón de Sallena, aunque sea de un tamaño diminuto en comparación con el Ibón de Urdiceto, situado justo al este de nuestra área y siendo uno de los más grandes del Pirineo Aragonés.

También encontramos otras morfologías características del modelado glaciar como los barrancos, destacando el más largo el Barranco de Sallena ocupando prácticamente todo el valle y formado por pizarras y granitos.

Las morrenas también tienen un papel protagonista en nuestra zona, pues las encontramos sobre todo en la zona central y sur del valle, estas formaciones consisten en depósitos característicos de sedimentación glaciar y que se producen por la fragmentación de rocas de cualquier tamaño que han sido transportados por un glaciar.

-Modelado periglacial y nival

Este tipo de modelado sucede antes del glaciar y surge como consecuencia del proceso denominado gelifracción, donde el hielo formado en el interior de las rocas en las laderas de las montañas provoca un aumento de estas que dará lugar a una posterior disgregación de la roca, generando fragmentos que se deslizaran y acumularan al borde de las montañas o al fondo del valle o del barranco.

Este modelado es propio de las zonas próximas a glaciares, por lo que aparecen en grandes cantidades en nuestra zona de estudio, mostrándose en forma canchales, es decir, en forma de acumulaciones de derrubios que se han ido desprendiendo de las partes más altas de las montañas y que además son muy comunes en el Pirineo Axial, por lo que también aparecen en los circos o valles cercanos al nuestro.

En el Valle de Sallena aparecen con frecuencia sobre los sectores oeste y norte, constituyendo un papel importante en cuanto al estudio se refiere debido a que la nieve puede deslizarse ladera abajo cuando se produce un alud.

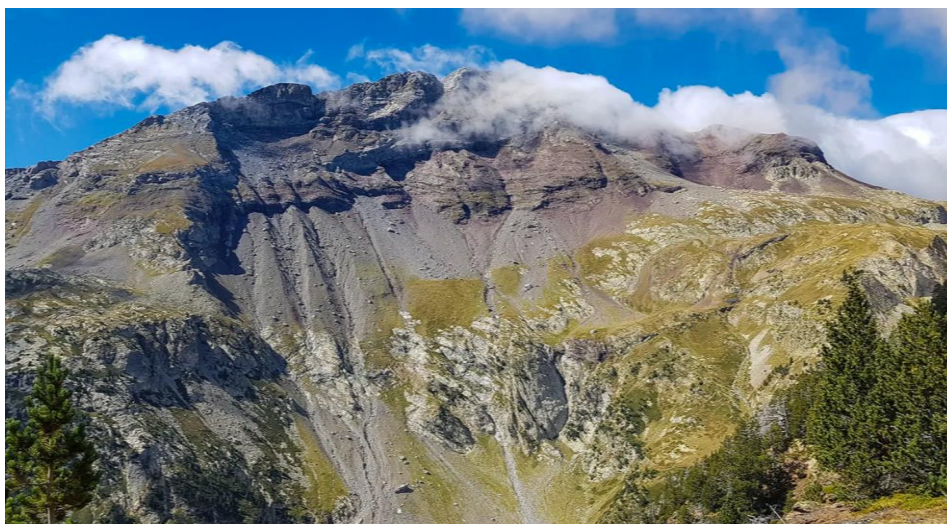


Figura 3: Laderas bajo Punta Suelza

-3.2.2 Climatología e hidrología

Debido a la imposibilidad de encontrar una estación climatológica en el Valle de Sallena, ha sido escogida la referida a la localidad de Bielsa (situada a 1.215 metros de altitud), siendo la estación más cercana a nuestra zona de estudio.

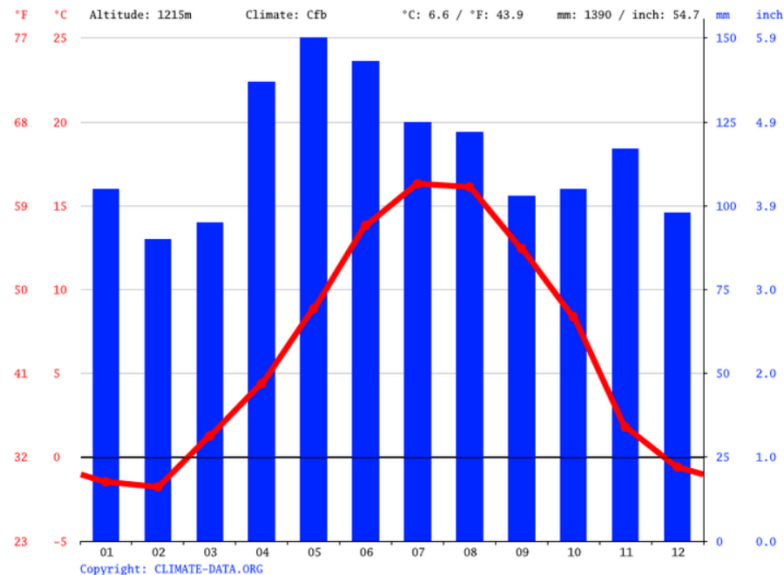


Figura 4: Climograma de Bielsa. Fuente: climatedata.org

“Desde el punto de vista climático nos encontramos ante un espacio de alta montaña de influencias atlánticas ya muy debilitadas” (JULIÁN Y CHUECA, CARTOGRAFÍA DE ZONAS ORDESA), caracterizado por unos inviernos fríos y veranos frescos, con unas precipitaciones constantes durante todo el año, sin presencia de estación árida.

La temperatura media anual de Bielsa es de unos 6’6°C, con una precipitación anual de 1390 mm.

El mes más frío corresponde al mes de febrero, con una temperatura media de -1’8°C, mientras que el mes más cálido pertenece a julio, con una media de 16’3°C, dando lugar a una oscilación térmica moderada de 18°C.

En relación con las precipitaciones, el mes más lluvioso es mayo, con 150 mm, mientras que el más seco corresponde a febrero, con 90mm. Es importante apuntar que ningún mes cuenta con sequías, estando repartidas las precipitaciones de manera homogénea a lo largo del año.

En cuanto a las precipitaciones en forma de nieve, señalar que tienen lugar fundamentalmente entre diciembre y marzo, si bien pueden producirse con menor intensidad desde noviembre hasta mayo (CHUECA Y JULIÁN, 2002; NAVARRI, 2010)

Otro dato de suma importancia es el volumen de precipitaciones en forma de nieve, pues estas permiten su acumulación, para su obtención se ha seguido el estudio elaborado por S. MELCHOR: (2016) “Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Vallibierna (Pirineo Central Aragonés)”.

Altitud (m)	Tª media (°C)	P total (mm)	Promedio días nieve
1.138	9,9	1.239	21
1.238	9,4	1.396,7	24,3
1.338	8,94	1.374,4	27,6
1.438	8,46	1.442,1	30,9
1.538	7,98	1.509,8	34,2
1.638	7,5	1.577,5	37,5
1.738	7,02	1.645,2	40,8
1.838	6,54	1.712,9	44,1
1.938	6,06	1.780,6	47,4
2.038	5,58	1.848,3	50,7
2.138	5,1	1.916	54
2.238	4,62	1.983,7	57,3
2.338	4,14	2.051,4	60,6
2.438	3,66	2.119,1	63,9
2.538	3,18	2.186,8	67,2
2.638	2,7	2.254,5	70,5
2.738	2,22	2.322,2	73,8
2.838	1,74	2.389,9	77,1

Tabla 1: Valores teóricos de temperatura media anual, precipitación total anual y días de nieve por cada 100 metros.

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla nos muestra que “el volumen de precipitaciones y el promedio de días de nieve es muy significativo a partir de los 1.600 m siendo notable a partir de los 2300m (aprox) donde alcanzan en torno a 2.000 mm de precipitación y más de 60 días donde esta es en forma de nieve” (NAVARRI, 2010).

Con esta tabla, se puede saber el número de días en el que el manto nivoso permanece sobre la superficie, el estudio realizado por CHUECA. J (1993), “Definición, funcionamiento y estructuración de geocomplejos morfodinámicos en la Alta Ribagorza aragonesa”, permite realizar una estimación acerca de ello.

- **Geocomplejo morfodinámico subnival:** más de 2.400 metros de altitud, en esta altitud el manto nivoso es capaz de permanecer en la superficie unos 190 a 200 días al año.

- **Geocomplejo morfodinámico alpina:** entre los 1.750 y 2.400 metros de altitud el manto nivoso permanece en la superficie unos 150 días al año desapareciendo a partir de mayo.

- **Geocomplejo morfodinámico subalpino:** situado por encima de los 1.400 metros de altitud, la cobertura nival permanece sobre la superficie unos 80 a 100 días al año.

El conocimiento de estos datos permite estimar los días que la nieve permanece sobre la superficie, y con ellos predecir y prevenir los posibles aludes.

La hidrología del Valle de Sallena se caracteriza por la presencia del barranco de Sallena, el cual cuenta con una longitud de unos 6 km, surgiendo a su alrededor otros dos barrancos más pequeños, como es el caso del Barranco de Monterruegos, con una longitud de algo más de 1 km o el Barranco de Basa, con unos 2 km de longitud.

El Barranco de Sallena forma numerosos meandros a lo largo de su trayecto, modelando el paisaje y superando los desniveles que encuentra a su paso, desembocando finalmente en el río Cinqueta.

-3.2.3 Vegetación

La cubierta vegetal del Valle de Sallena presenta diversas variaciones de especies arbóreas debido a su topografía y diversidad de paisajes. El factor relieve condiciona el clima, las precipitaciones, temperaturas y dirección del viento dando lugar a varios tipos de vegetación.

En nuestra zona de estudio encontramos una gran variedad de especies, destacando la zona de bosque en el centro-sur del valle, seguido de matorrales y pastizales en la parte norte y oeste, terminando con la presencia de suelo desnudo y/o nieve en las zonas conocidas de mayor altitud.

Estas formaciones vegetales pueden dividirse en grupos dependiendo de los distintos pisos bioclimáticos a los que pertenecen, es por ello por lo que atenderemos a la clasificación elaborada por S. MELCHOR: (2016) "Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Vallibierna (Pirineo Central Aragón)" basándose en la previa descripción realizada por CHUECA (1993).

-Piso alpino: situado a partir de los 2.300 metros de altitud donde, debido a su altitud y a las condiciones climáticas que estas alturas conllevan, dominan los pastizales y el suelo desnudo, a su vez encontramos dos subdivisiones dentro de esta clasificación:

o *Horizonte alpino superior* (más de 2.800m): caracterizado por, debido a su elevada altitud, la presencia total de suelo desnudo.

o *Horizonte alpino inferior*: (entre 2.300 y 2.800m): encontrando en este piso los prados, variando su cantidad según las condiciones topográficas de la zona. Aparece como especie dominante la *Festuca ESKIA*.

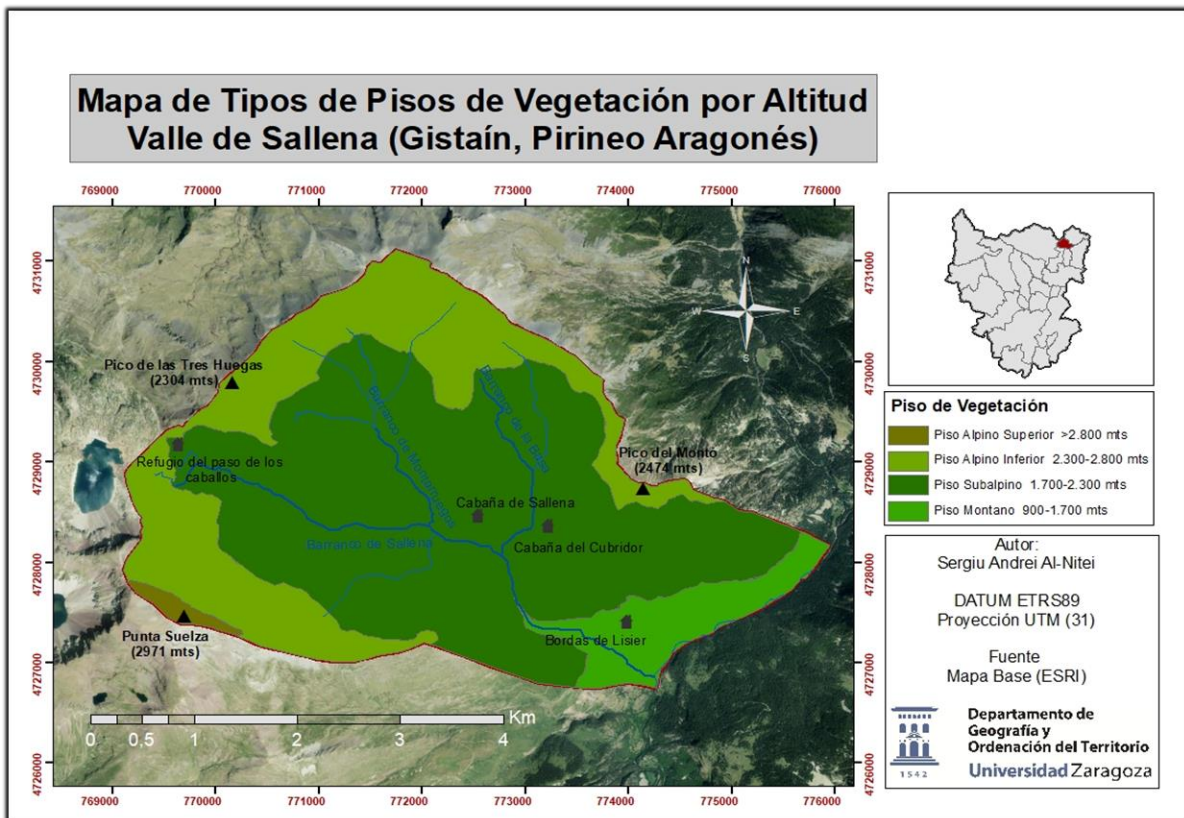
Conforme aumenta la altitud, los pastizales van desapareciendo, dejando protagonismo al suelo desnudo. Alternándose con los pastizales frecuentan también depósitos de canchales acompañados de flores silvestres como la *Crepis Pygmaea*.

Este piso, tanto como el superior, prolifera fuertemente en la zona norte y suroeste del valle de Sallena, acompañado de canchales y coincidiendo con las zonas de mayor altitud, además de aparecer, aunque en menor medida en el norte del valle.

- **Piso subalpino:** está ubicado entre los 1.700 y 2.300 metros de altitud y se caracteriza por la presencia de pinares, como el *Pinus nigra* o *Pinus uncinata*, y matorrales, como el *Vaccinium myrtillus*. Estas especies son muy resistentes a las heladas, al peso del manto nivoso y al viento, por lo que aguantan muy bien el invierno.

En nuestra zona de estudio estas formaciones aparecen en la zona central del valle alternándose, los pastizales y matorrales, con bosques menos densos y abiertos conforma ascendemos en altura.

- **Pino montano:** situado entre los 900 y 1.700 metros de altitud encontramos aquí los bosques de coníferas, destacando especies de *Pinus uncinata* y *Abies alba*, siendo predominante en la zona suroeste de nuestra área de estudio.



2ª Cartografía: Tipos de Pisos de Vegetación por Altitud

-3.2.4 Presencia Antrópica

La presencia antrópica del valle de Sallena se debe única y exclusivamente al senderismo que este ofrece y a las diferentes actividades de barranquismo y rapel realizadas en la zona.

Su mayor pico se da en fechas estivales, donde las personas realizan los senderos del Pico de las Tres Huegas, el Puente de Blanca y Punta Suelza, disfrutando de los bonitos paisajes y vistas que estos ofrecen, siendo de gran ayuda y sirviendo como zona de descanso para los excursionistas los diferentes refugios y cabañas encontrados a su paso; Cabaña de Sallena, Cabaña del Cubridor y Refugio del paso de los caballos.

A su vez el barranco de Sallena permite un descenso divertido, acuático y bonito, pudiendo llegar hasta la zona de barranco desde el camino marcado hacia las Bordas de Lisier, y desde donde se buscará el camino que descienda hacia el río, sin embargo, hay que tener cuidado ya que este es bastante perdedor.



Figura 5: Cabecera del valle de Sallena desde el Refugio del Paso de los Caballos (Foto: Wikiloc).

4. Metodología

En este apartado se explicarán los diferentes procesos metodológicos llevados a cabo a la hora de la elaboración del estudio de desprendimiento de aludes en el valle del río Sallena.

Dentro de esta metodología encontramos varios apartados relacionados con el tema de estudio, los criterios utilizados junto a la información empleada para ello y los pasos a seguir para la elaboración del proyecto.

-4.1 Marco teórico

“A pesar de que la alta montaña comprenda un entorno de gran belleza, también está caracterizada por los peligros y daños que su relieve y clima pueden llegar producir, destacando los deslizamientos de nieve, a los cuales denominamos “aludes. Estos están presentes en toda la Cordillera Ibérica, sin embargo, destacan con mayor frecuencia en las áreas del Pirineo Axial, donde los factores son más favorables para su producción y en las cuales los impactos sociales y económicos son más notables”. (LA GUIA DE ALUDES, Aemet, 2015)

Casi un 50% de las muertes por aludes en España tienen lugar en el Pirineo Oscense, ascendiendo las cifras a 81 muertos en las últimas décadas. El incremento de los accidentes se debe principalmente al aumento de las actividades de montaña, que cada año atrae a más y más turistas. Se sabe que los aludes son recurrentes y que los accidentes se podrían evitar si se establecieran medidas preventivas, “impulsando campañas de formación e información a los montañeros y esquiadores de montaña y fuera de pistas para que valoren el riesgo de los itinerarios, y por supuesto, utilizar equipos que faciliten el rescate”. (MARÍA JOSE VILLANUEVA, HERALDO, 2019)

El estudio de predicción de aludes y actividades asociadas comenzó en Cataluña con el Servicio Geológico de Cataluña (SGC) en 1986. A partir de ahí el desarrollo de las nuevas tecnologías asociadas a la cartografía y los nuevos sistemas informáticos geográficos (SIG), el estudio y prevención de aludes en las zonas de alta montaña ha avanzado de tal manera que se pueden realizar cartografías de arranques de aludes, y saber cuales son los factores que condicionan y provocan estos fenómenos.

Las investigaciones del ICGC señalan tres tipos de aludes responsables de los accidentes mortales.

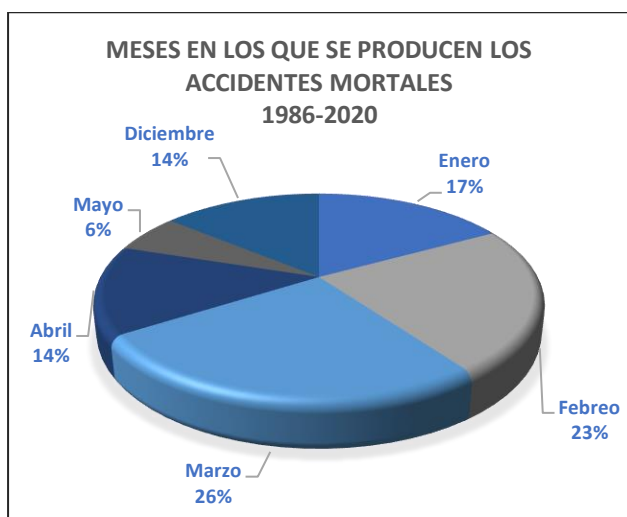


Gráfico 1: Meses de accidentes mortales

Fuente: Elaboración propia

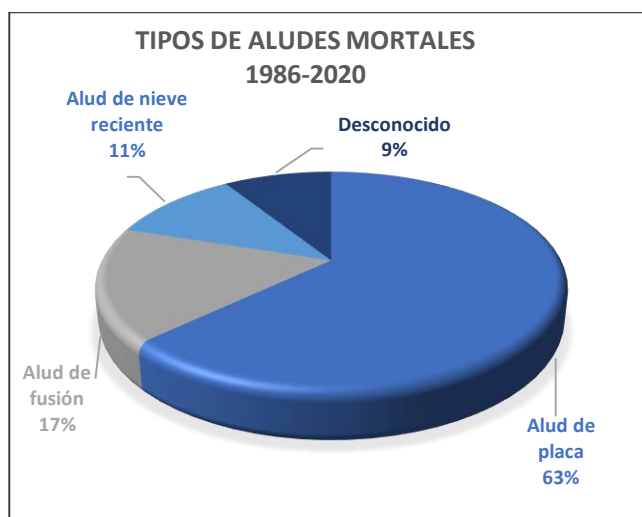


Gráfico 2: Tipos de aludes mortales

Fuente: Elaboración propia

La GUÍA DE ALUDES, (2015) elaborada por AEMET, distingue morfológicamente a los aludes en tres partes:

- **Zona de salida:** aquella zona donde se inicia el alud y donde existe una aceleración significativa de la masa de nieve.
- **Zona de trayectoria:** parte de la ladera bajo la zona de salida que conecta con la de depósito, esta zona alcanza la velocidad máxima del alud y es donde se producen la incorporación o pérdida de nieve.
- **Zona de depósito:** es el área donde la desaceleración es elevada y la nieve movilizada se deposita deteniéndose el alud.

El Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG) caracteriza a los diferentes tipos de aludes existentes de la siguiente manera:

- **Alud de placa:** estos son producidos por la existencia de discontinuidades en el manto de la nieve con densidades entre 140 y 290 kg/m³, pero débilmente adheridas a la superficie del terreno sobre las que reposan. El resultado es el deslizamiento de las capas superiores, por encima de una capa de baja cohesión, su zona de salida es lineal y en la de llegada se forman depósitos con bloques compactos de grandes dimensiones.
- **Alud de fusión:** producidos a finales del invierno y en primavera ya que son causados por la fusión del manto nivoso cuando la temperatura aumenta por encima de los 0º o en caso de lluvia, la zona de salida es puntual y su trayectoria se adapta al relieve del terreno alcanzando velocidades de entre 30 y 100 km/h.
- **Alud de nieve reciente:** son aquellos que se producen durante o poco después de intensas nevadas, estos pueden ser de nieve seca o húmeda. La nieve seca se mantiene así si desde la última nevada la temperatura ha subido, ya que no se habrá transformado y tendrá poca cohesión, por el contrario, la nieve húmeda si presenta alto grado de cohesión. Este tipo de aludes presentan una zona de salida puntual, con pendientes de 35º y 17º, producidos debido a una pérdida de cohesión de la capa superficial por sobrecarga o por un aumento de temperatura



Figura 6: Alud. Fuente: BarrabesBlog– Esquí y Montaña

Los aludes son uno de los fenómenos naturales imposibles de evitar, por lo que en aquellas zonas en las que es habitual la práctica de deportes de montaña, como es el caso del Pirineo Axial, los servicios

meteorológicos correspondientes a la zona elaborar una serie de boletines de aludes en los que valoran los riesgos de una zona determinada teniendo en cuenta factores como la pendiente, la cantidad de precipitación nival acumulada o las temperaturas. Este tipo de escala fue elaborada por la UNESCO y se le conoce como Clasificación Morfológica Internacional de Avalanchas.

4.2 Criterios

Los criterios utilizados para el estudio de los aludes siguen las referencias del estudio CHUECA et al, 2009 realizado sobre el alud de 2008 producido en el Circo de Musales (Pirineo Aragonés), añadiendo los conocimientos del estudio CHUECA Y JULIÁN, 2010, definiendo así dos tipos de variables que determinan la probabilidad de arranque de aludes.

-Variables directas: Relacionadas directamente con la topografía y naturaleza del terreno, dependiendo de la altitud, pendiente, vegetación y morfología presente.

-Variables indirectas: Relacionadas a las condiciones y cambios climáticos, dependiendo de las temperaturas, precipitaciones y dirección e intensidad del viento.

En nuestro estudio solo se han tenido en cuenta las variables directas; pendiente, vegetación y altitud, sin tener en cuenta las variables indirectas debido a la dificultad que estas conllevan.

Variables directas:

-Cubierta vegetal del terreno: La cubierta vegetal del terreno supone un componente muy importante en el arranque de los aludes ya que “el porte y la densidad de la vegetación son determinantes en relación con el desencadenamiento de aludes, siendo las zonas cubiertas de pasto las más favorables, seguidas de las tapizadas por una masa relativamente densa de arbustos. Los sectores de bosque cerrado son los menos proclives a registrar avalanchas, aunque pueden verse afectados en mayor o menor medida por avalanchas originadas en otras áreas situadas fuera del bosque” (CHUECA, J., LAPEÑA, A., LÓPEZ, I., JULIÁN, A., PEÑA, J.L., ZABALA, J., 2000. “Cartografía de zonas probables de aludes en el Pirineo aragonés: Metodología y resultados”)

- Límite altitudinal: “El límite altitudinal marca la cota inferior a partir de la cual durante una determinada época del año las precipitaciones son en forma de nieve y las bajas temperaturas favorecen su conservación” (CHUECA, J., LAPEÑA, A., LÓPEZ, I., JULIÁN, A., PEÑA, J.L., ZABALZA, J., 2000. “Cartografía de zonas probables de aludes en el Pirineo aragonés: Metodología y resultados”), el límite altitudinal se expresa mediante la isoterma 0°C, que se haya gracias al estudio realizado por CHUECA, J., JULIÁN, A., LÓPEZ, J.I., PEÑA, J.L. y CAMINS, J., 2004: “Análisis de la evolución reciente de los glaciares del macizo de la Maladeta (Pirineo Central español): cuantificación de pérdidas de superficie y volumen”. El valor de la isoterma 0°C para cada mes de estudio es de vital importancia para conocer a partir de que altitud estas precipitaciones son en forma de nieve y para conocer en qué lugares habrá nieve o no, por ello utilizaremos los valores aportados por S. MELCHOR (2016) en su proyecto “Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Vallibierna (Pirineo Central Aragonés)”, donde más adelante se expondrán con más detalle.

- Pendientes: el grado de inclinación de las pendientes supone un elemento muy significativo a la hora de que el manto nivoso tenga total capacidad para acumularse y precipitarse o en caso contrario de estancarse y no continuar el recorrido. “Respecto a los valores de pendiente más

favorables al desencadenamiento de aludes, se considera necesaria una inclinación de al menos 28º para que la componente longitudinal del peso de la nieve supere las fuerzas de resistencia; ahora bien, lo cierto es que no hay un límite inferior preciso de seguridad por debajo del cual se pueda afirmar que las laderas no se van a ver afectadas por aludes. Por otro lado, sobre vertientes con ángulos de pendiente superiores a los 45º, la cantidad de nieve que se llega a acumular no es suficiente como para que se generen avalanchas de cierta significación” (CHUECA, J., LAPÉÑA, A., LÓPEZ, I., JULIÁN, A., PEÑA, J.L., ZABALA, J., 2000. “Cartografía de zonas probables de aludes en el Pirineo aragonés: Metodología y resultados”) En este trabajo el valor de las pendientes está clasificado en rangos de 45º para su mejor representación y reclasificación.

4.3 Fuentes de Información empleadas

Destacamos en primer lugar el Instituto Geográfico Nacional (IGN), desde el cual, y dentro de su Centro de Descargas, obtenemos toda la información necesaria referente a la elaboración de las cartografías.

- 1- Ortofotograma: Mapa Base fotografiado proporcionado por los servicios ESRI
- 2- Alimetría digital: Modelo Digital del Territorio con paso de malla de 5m (MDT05) referente a las hojas 147 y 179.
- 3- Ocupación del suelo: Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE) del año 2014.
- 4- Límites territoriales: Capas de límites comarcales de la provincia de Huesca y capa de límites municipales de la comarca de Sobrarbe.
- 5- Información climática regional: Situación altitudinal mensual de la isoterma 0ºC (MELCHOR, 2016)
- 6- Elementos del territorio: BTN 25 de la provincia de Huesca.

Todas las capas todas ellas se utiliza el sistema de referencia y proyección UTM Zona 31 y el Datum ETRS 1989.

4.4 Elaboración cartográfica

Esta parte corresponde a la explicación de los procesos necesarios para la elaboración del proyecto, destacando como principal herramienta de trabajo ArcMap, la cual es una extensión del software de ArcGIS en su versión 10.8.

1. En primer lugar, delimitamos el área de estudio de forma manual mediante la opción de elaborar polígonos guiándonos por las de curvas de nivel. Posteriormente cargamos las capas PNOA y MDT05 referentes a las hojas 147 y 179. Con la delimitación de nuestra zona ya hecha comenzamos la carga de los diferentes elementos topográficos. De esta manera cartografiamos la red fluvial mediante la carga de la capa BTN 25 correspondiente a la provincia de Huesca. Para entrar en más detalle elaboramos manualmente una capa referente a los picos mas significativos, a los barrancos y a los refugios presentes en la zona de estudio. En la parte superior derecha realizamos un mapa de tamaño reducido marcando el área de estudio sobre el municipio de Gistaín y colindantes con el objetivo de precisar su localización a simple vista
2. A continuación, y utilizando la herramienta “Mosaic to Raster” unificamos nuestras hojas 147 y 179 MDT05 en una sola, para después realizar el recorte según nuestra área mediante la herramienta

“Extract by Mask”. Ya con nuestro modelo territorial delimitado, procedemos a la elaboración del Modelo Digital de Elevaciones a través de la herramienta “Hillshade”. Sobre la capa MDT05 original recortada aplicamos la herramienta “Slope”, elaborando así el mapa de pendientes correspondiente a nuestra área. Dentro de este deberemos proceder a una reclasificación de los datos mediante la herramienta “Reclassify”, utilizando los datos proporcionados por CHUECA, J. y JULIAN, A. (2010): “Cartografía de zonas probables de salida de aludes en el alto Gállego (Pirineo Central Aragonés) mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica”.

Consideramos nuestra división según zonas de menos de 25º, entre 25º y 30º, entre 30º y 40º, entre 40º y 45º y superior a 45º. Recalcificamos estos valores aplicando el valor de “0” a las zonas con pendientes no comprendidas entre 25 y 45º, el valor 100 a las zonas de pendientes comprendidos entre 25 º -30 º y 40 º -45 º, y el valor 150 a las zonas de pendientes comprendidos entre 30 º -40 º.

- RIESGO BAJO: zonas valor “0”
- RIESGO MEDIO: zonas de valor “100”
- RIESGO ALTO: zonas de valor “150”

3. Con los datos obtenidos de SERGIO MELCHOR, 2016 en su “Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Vallibierna” conocemos la información referente a la altitud de la Isoterma 0ºC en los meses de estudio.

MES	ALTITUD
NOVIEMBRE	2.189
DICIEMBRE	1.744
ENERO	1.527
FEBRERO	1.571
MARZO	1.876
ABRIL	2.103
MAYO	2.557
MEDIA	1.938

Tabla 2: Altitud de la Isoterma 0ºC

Fuentes: S.Melchor (2016): “Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el Valle de Vallibierna (Pirineo Central Aragonés)

Autor: Sergiu Andrei Al-Nitei

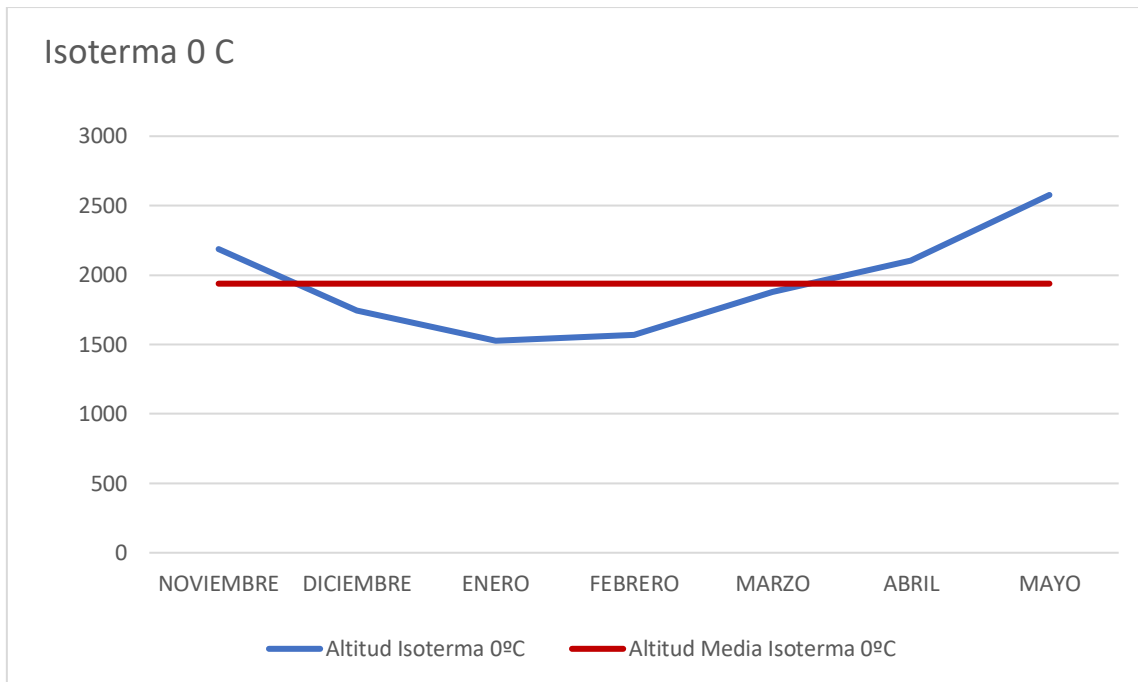


Gráfico 3: Variación mensual de la Isoterma 0°C

Fuentes: S.Melchor (2016): "Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el Valle de Vallibierna (Pirineo Central Aragonés)

Autor: Sergiu Andrei Al-Nitei

- Como punto final elaboramos la cartografía de la cubierta vegetal de nuestra zona de estudio mediante la capa vectorial de usos de suelo proporcionada por el SIOSE del año 2014. Sin embargo, al no contar con suficiente grado de detalle, hemos tenido que redigitalizar la cubierta vegetal del suelo usando el apoyo del mapa base de la zona de estudio.

Para conseguirlo se ha utilizado la herramienta "Editor", y en su sección de "Create Features" se han ido creando y editando polígonos según se creía conveniente, al finalizar la redigitalización se ha ajustado esta capa a la zona de estudio mediante la herramienta de geoprocésamiento Clip.

Por último, se pasa la capa vectorial a capa ráster utilizando la herramienta de Spatial Analyst, quedando como resultado el siguiente:

- Bosque de coníferas: "0"
- Matorral/Bosque abierto: "50"
- Suelo desnudo: "150"
- Pastizal o herbazal: "200"

El valor "0" también se les asigna a los polígonos de Laguna/Bosque por el hecho de que son cubiertas desfavorables para el arranque de aludes, quedando así fuera del análisis.

Se obtienen tres categorías previas a los mapas para cada uno de los meses de estudio y de la media invernal de la susceptibilidad de arranque de aludes en el Valle de Sallena.

Como conclusión al estudio realizado decidimos realizar análisis multicriterio para obtener el resultado final utilizando la herramienta Spatial Analyst en su comando "Raster Calculator", por lo que la operación para

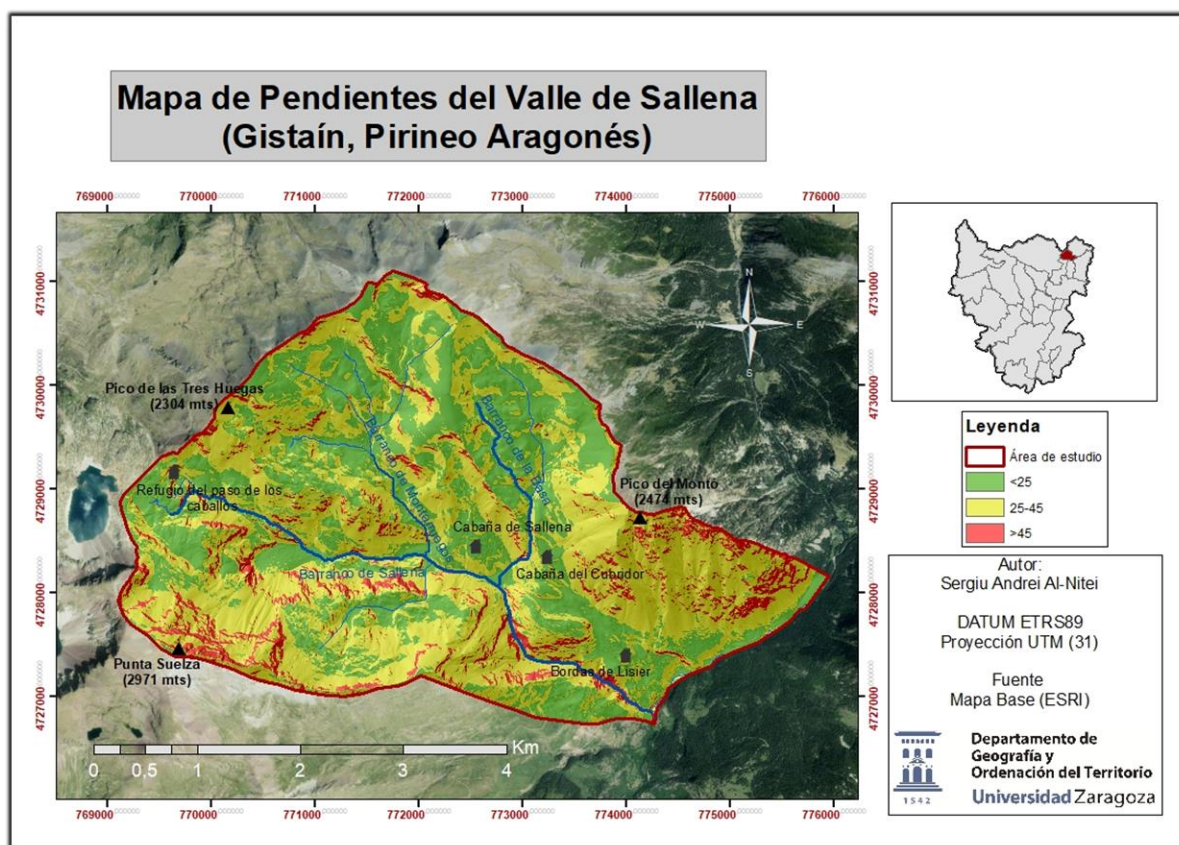
obtener los mapas finales es la siguiente: zonas sin cobertura de bosque denso, añadido a los sectores de la zona de estudio cuyas pendientes se encuentren entre 25º y 45º de inclinación y que superen la Isoterma 0º para cada uno de los meses de estudio.

Como resultado final hemos obtenido ocho cartografías muy aptas para el análisis del riesgo de aludes.

5. Resultados y discusión

En este apartado se mostrarán las diferentes cartografías correspondientes al análisis del arranque de aludes en el Valle de Sallena, todas ellas de elaboración propia.

El primer criterio hace referencia al análisis de los niveles de pendientes que comprende nuestra zona de estudio, reclasificando los valores en <25°/25°-45°/>45° para un mejor entendimiento.

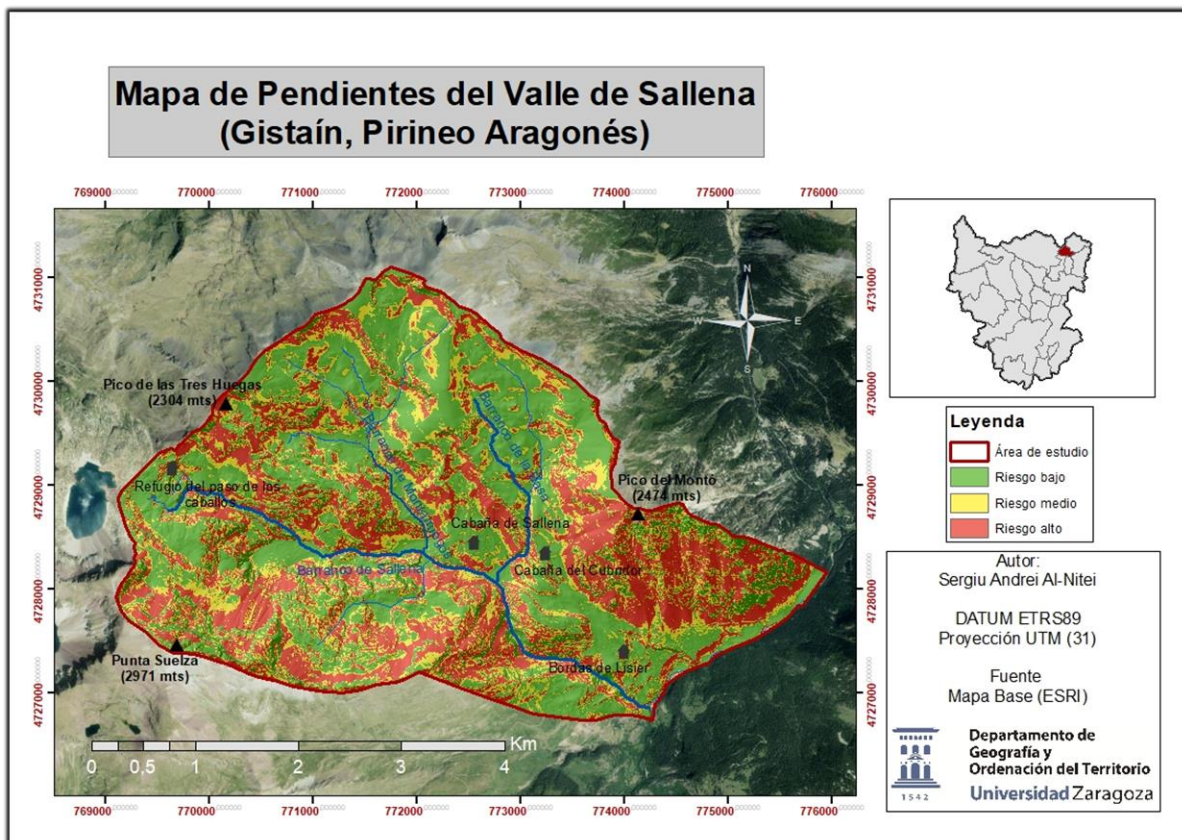


3ª Cartografía: Mapa de pendientes

Al tratarse de una zona de alta montaña encontramos áreas con un alto grado de inclinación, sobre todo en los límites suroeste, noroeste y noreste, en los cuales se encuentran los picos más altos del valle, como Punta Suelza, el Pico de las Tres Huegas o el Pico del Montó.

Sin embargo, para nuestro estudio, los suelos con altos grados de pendientes tendrían un valor mínimo de riesgo de arranque de aludes ya que sobre estos no puede almacenarse manto nival, siendo los más peligrosos los suelos comprendidos entre 30°-40° de pendiente. En estos es posible el almacenamiento de manto nivoso, que, sumado a la inclinación del suelo, los convierte en zonas muy susceptibles de arranque de aludes.

Realizando la reclasificación anteriormente explicada en el punto 4.2 “Elaboración Cartográfica” según la cual consideramos las pendientes de <25° y >45° como zonas de riesgo bajo, las pendientes comprendidas entre 25°-30° y 40°-45° como zonas de riesgo medio y las pendientes comprendidas entre los 30°-40° como las zonas de riesgo alto.



4ª Cartografía: Mapa de riesgo según la clasificación de pendientes

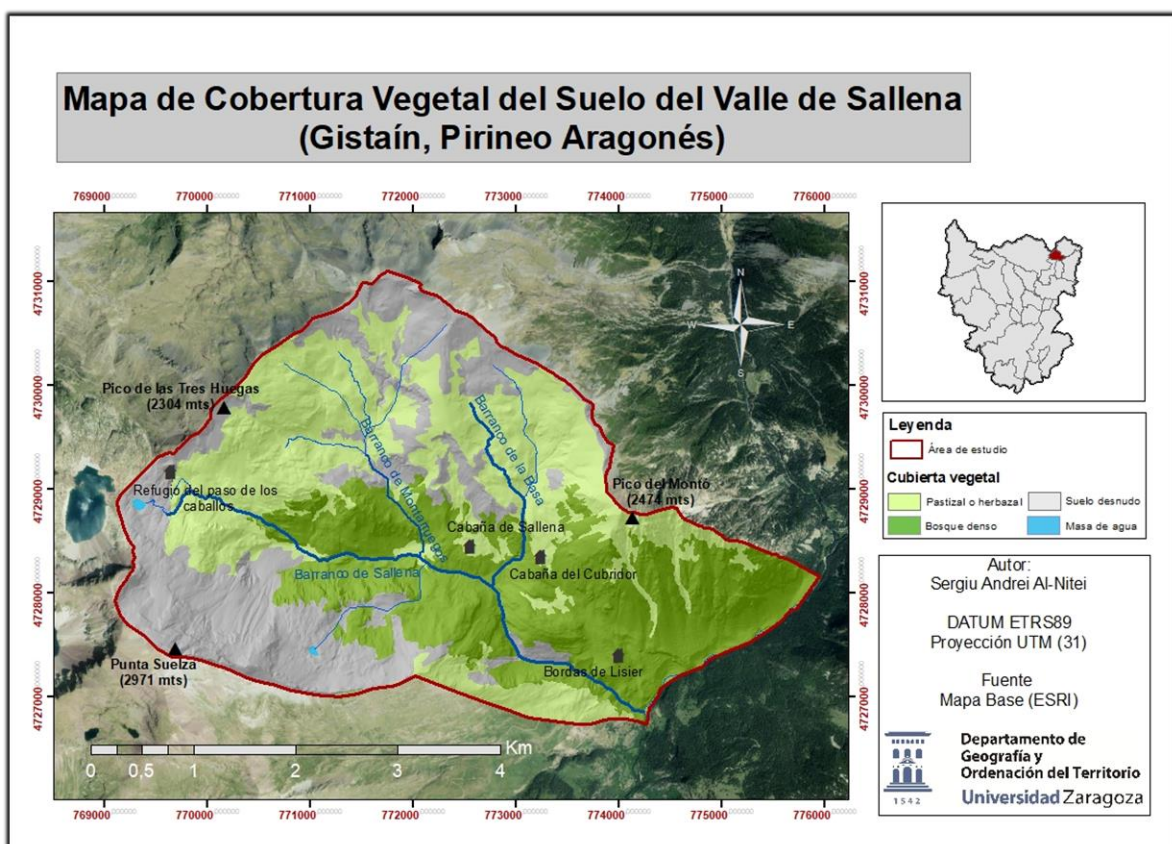
El segundo criterio hace referencia a la cubierta vegetal del suelo del Valle.

En nuestra zona de estudio observamos un amplio bosque denso en la zona centro-sureste. Por otro lado, la zona norte del valle, tanto su parte derecha como izquierda, está compuesta en su mayoría por pastizales y herbazales, destacando también una pequeña porción de estos en el límite sureste de la zona de estudio.

Al tratarse de un valle glaciar encontraremos mucho territorio desprovisto de vegetación, predominantemente en el margen suroeste, el límite norte y las zonas próximas al Ibón del Urdiceto.

Por último, encontramos dos pequeñas masas de agua provenientes del deshielo primaveral.

En resumen, podemos decir que se trata de una zona poco diversificada en cuanto a variedad de vegetación, clasificando esta en dos grandes grupos; pastizal o herbazal y bosque.

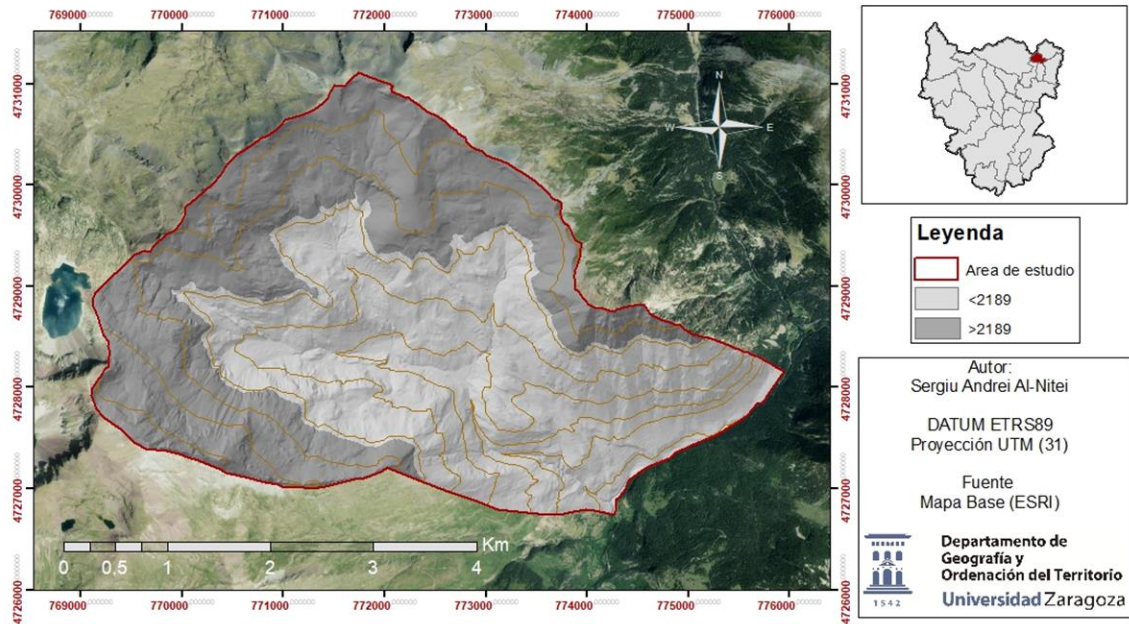


5ª Cartografía: Mapa de cobertura vegetal del suelo

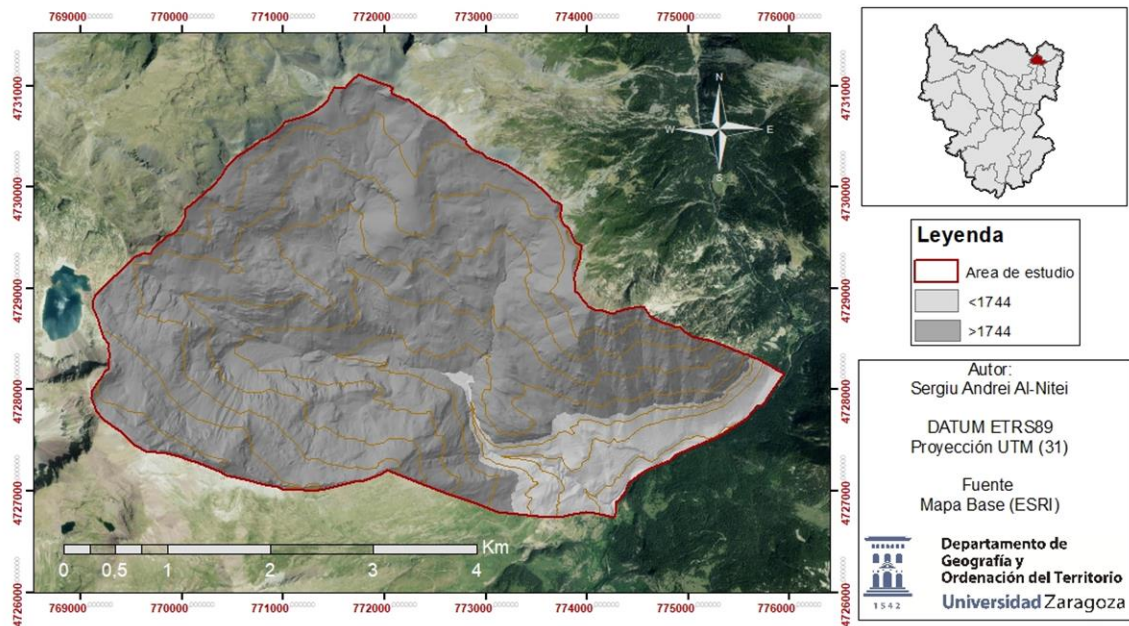
Las cartografías mostradas a continuación corresponden a la altitud de la Isotherma 0°C en la zona estudio, siendo de color gris oscuro el área que queda por encima de esta, y de color gris claro el área que queda por debajo. Esta línea de Isotherma 0°C indicará el límite de precipitaciones en forma lluvia o en forma de nevadas.

Este sería el último factor influyente en nuestro estudio sobre la probabilidad de arranque de aludes en el Valle de Sallena.

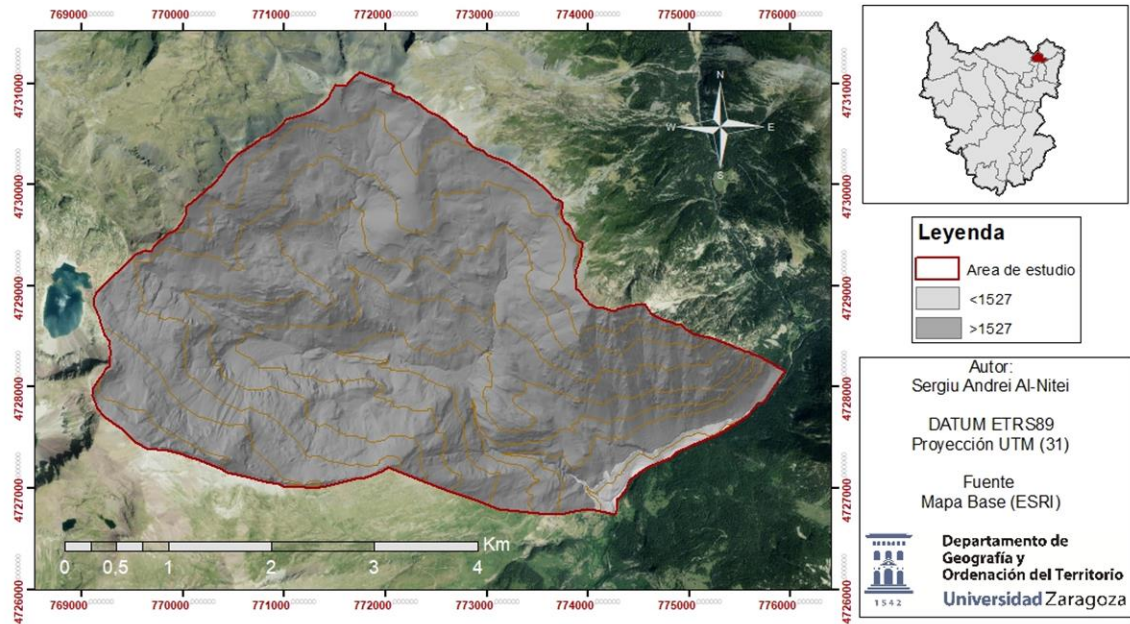
Mapa de Altitud de la Isotherma 0°C. NOVIEMBRE. Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)



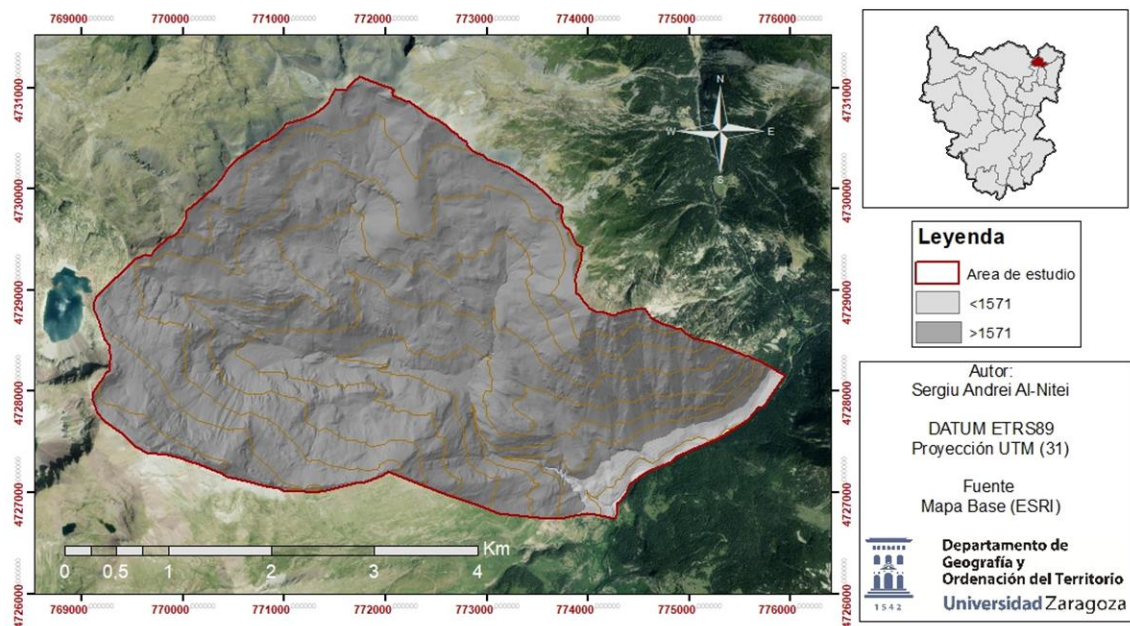
Mapa de Altitud de la Isotherma 0°C. DICIEMBRE. Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)



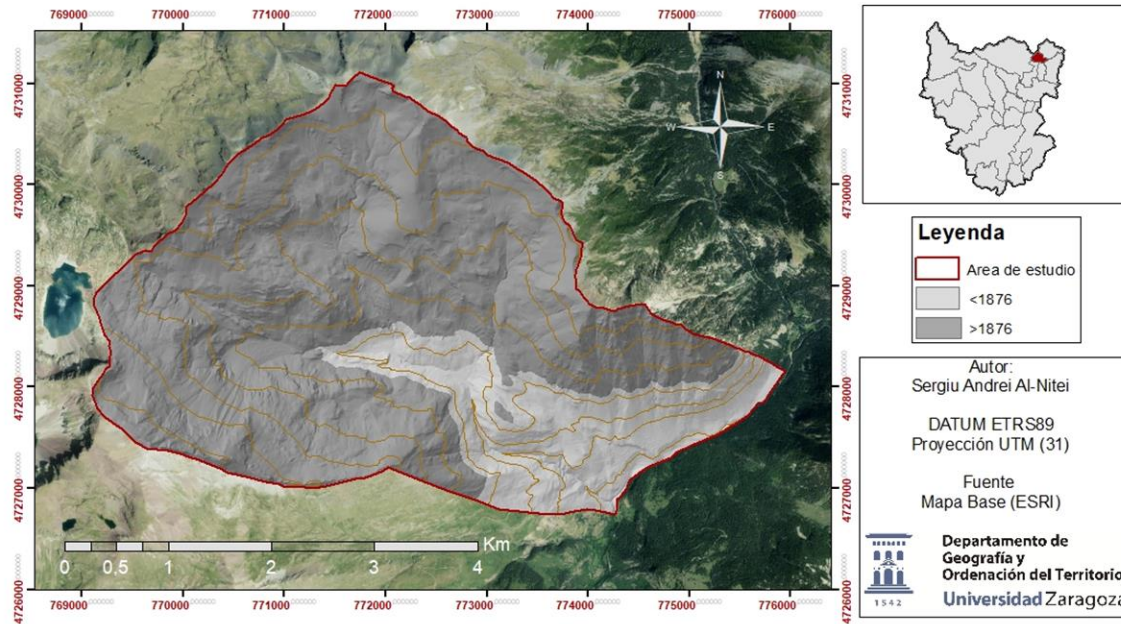
Mapa de Altitud de la Isotherma 0°C. ENERO. Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)



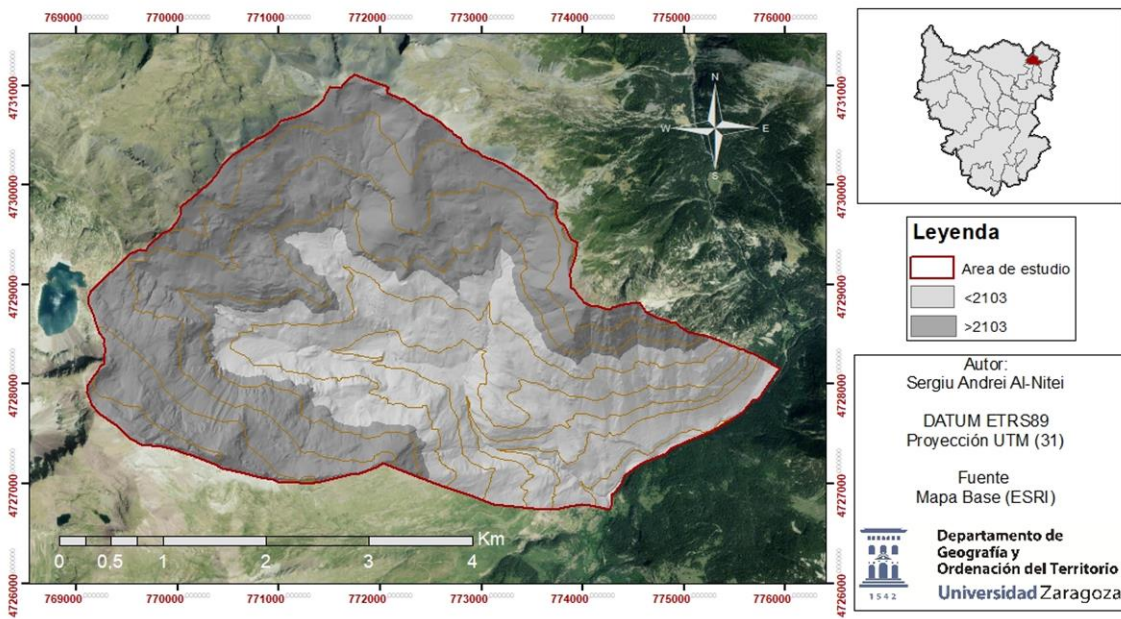
Mapa de Altitud de la Isotherma 0°C. FEBRERO. Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)

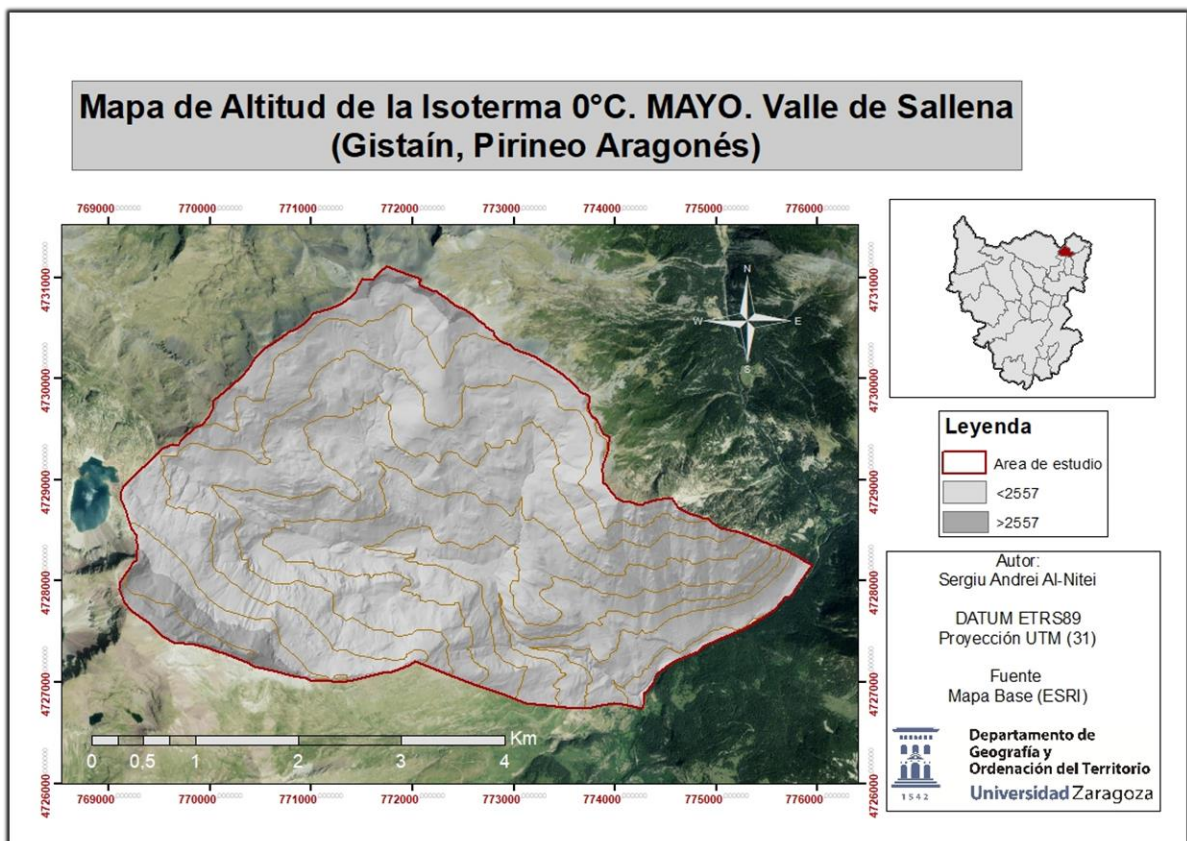


Mapa de Altitud de la Isotherma 0°C. MARZO. Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)



Mapa de Altitud de la Isotherma 0°C. ABRIL. Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)





6-12ª Cartografía: Mapas de altitud de la Isotherma 0°C

Con las cartografías de Pendiente, Cubierta Vegetal y Límite de Isotherma 0°C, procedemos a realizar el análisis de probabilidad de arranque de aludes para cada mes desde noviembre hasta mayo y la media invernal de estos.

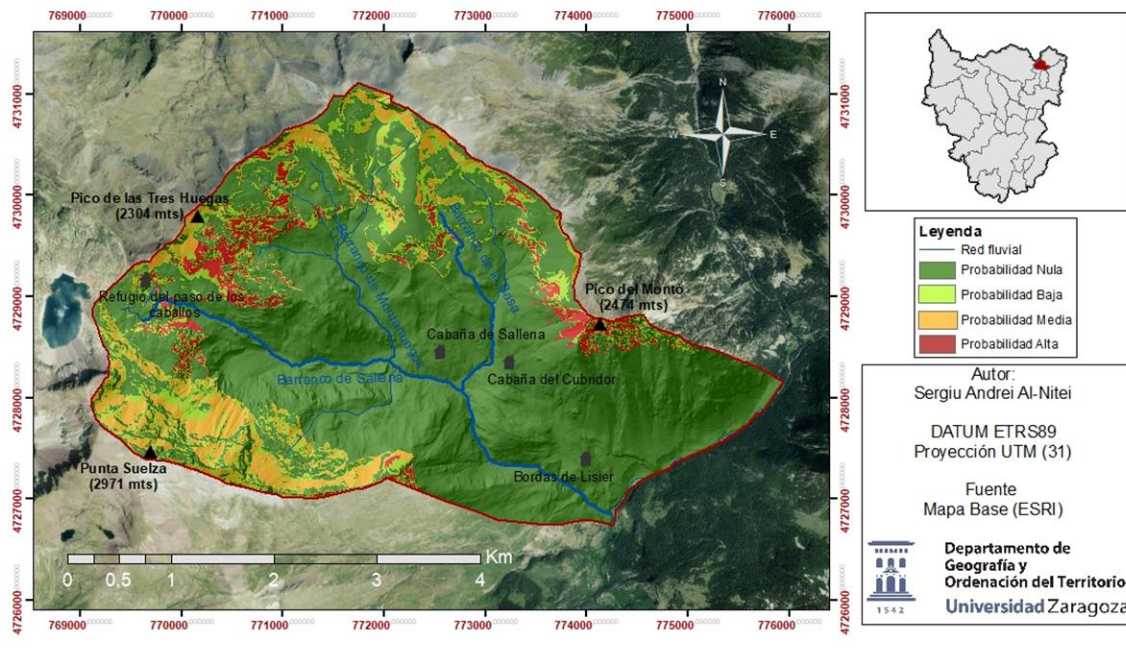
En las cartografías de probabilidad de arranque de aludes del Valle de Sallena marcamos con un tono verde oscuro las áreas donde la probabilidad de que ocurra este fenómeno es baja, con un tono amarillo las áreas con una probabilidad media y, por último, en tono rojo las zonas con una alta probabilidad de arranque de aludes.

Uno de los principales factores condicionantes es la altitud, siendo las zonas próximas al cauce del río las que menor probabilidad de arranque tienen ya que se encuentran a menor altitud, sumándole el factor de la vegetación, debido a que se encuentran rodeadas de bosque.

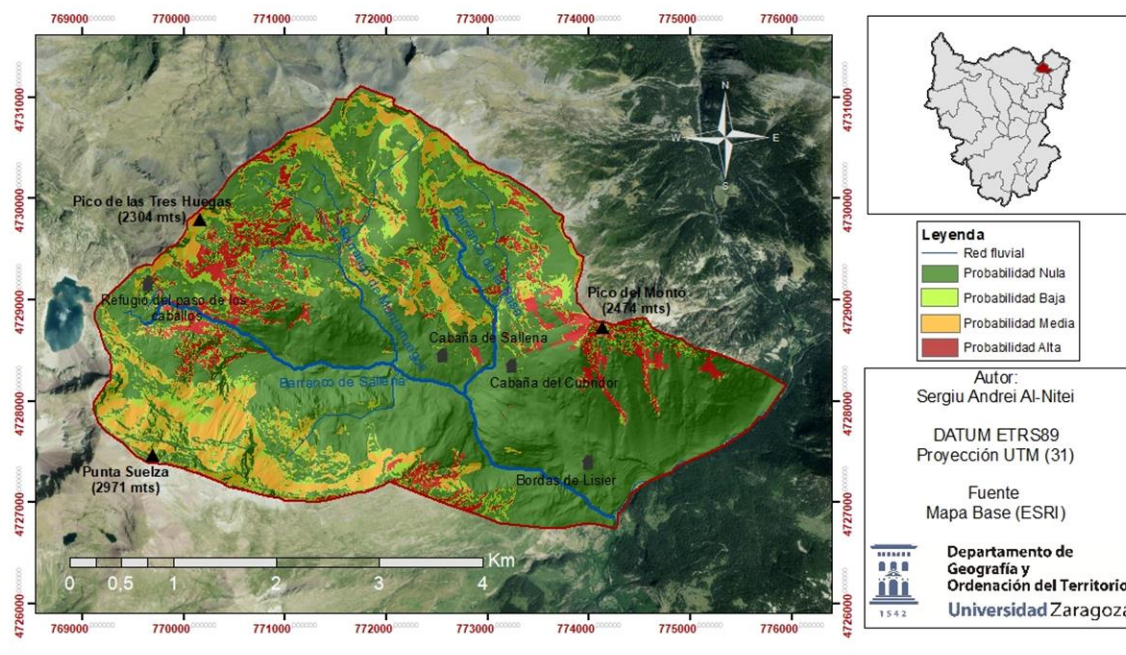
A simple vista observamos también una gran diferencia entre los meses más cálidos y los más fríos, siendo el mes de mayo el que mayor área de probabilidad baja de arranque posee, excepto en las cotas más altas. En el resto de los meses, encontramos variaciones en función de la línea de la Isotherma 0°C, alcanzando la mayor área de probabilidad alta de arranque de aludes los meses de enero-febrero-marzo.

Referente a la media invernal, la zona central y este del valle son las menos susceptibles a los arranques de aludes, contando con un riesgo prácticamente nulo. Conforme nos desplazamos hacia el oeste, sur y norte de las probabilidades van en aumento debido a los factores de poca cobertura vegetal y mayor ángulo de inclinación de las pendientes.

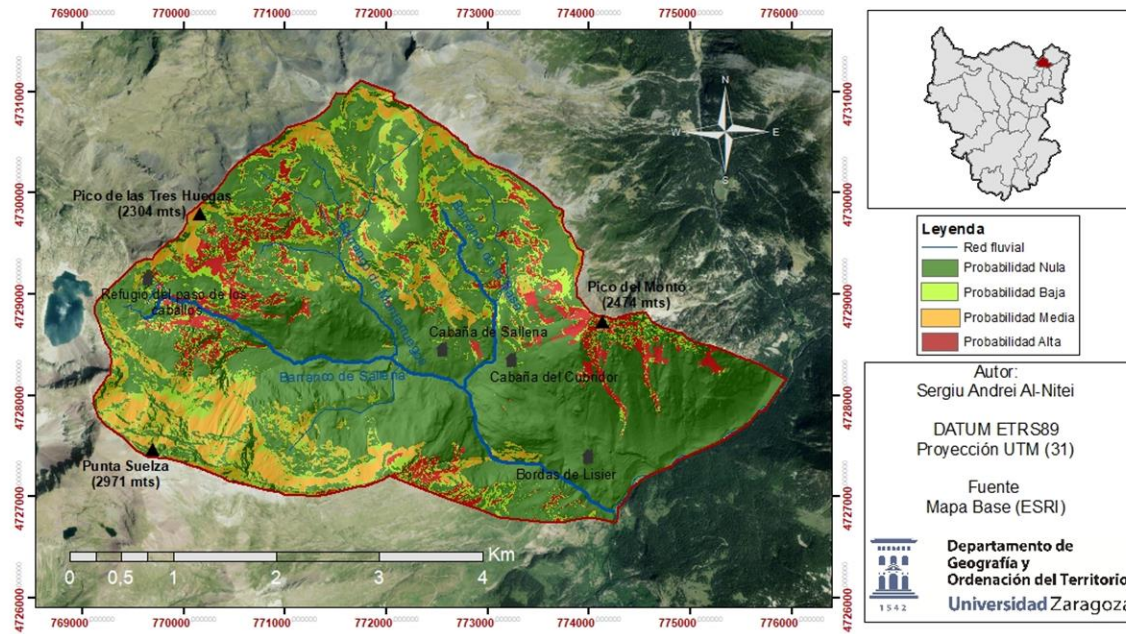
Mapa de Probabilidad de Arranque de Aludes. NOVIEMBRE Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)



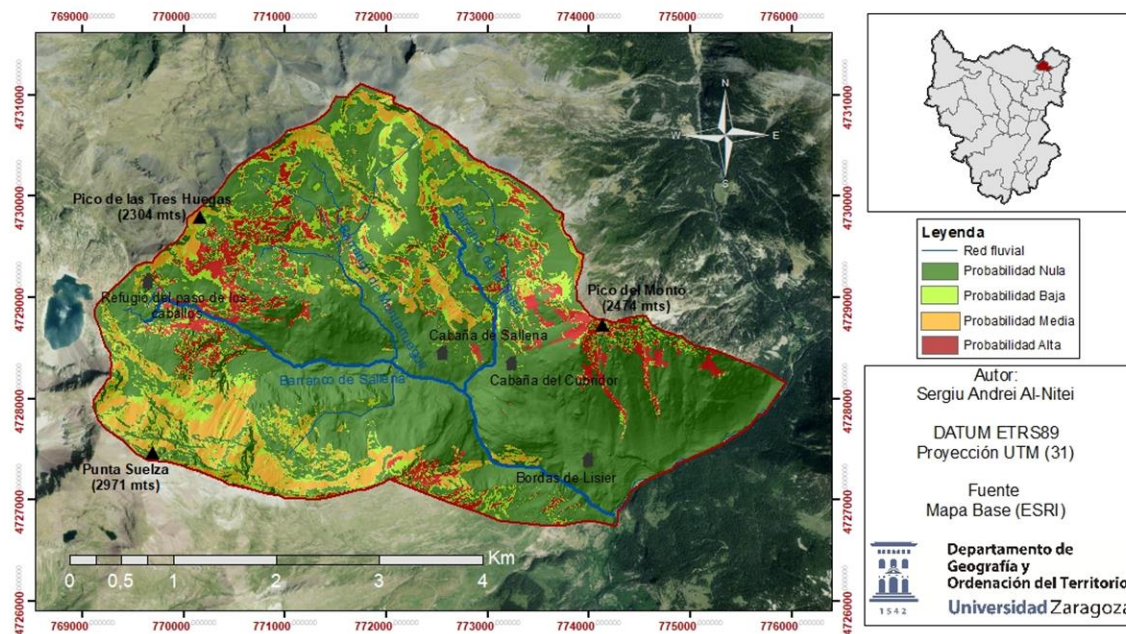
Mapa de Probabilidad de Arranque de Aludes. DICIEMBRE Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)



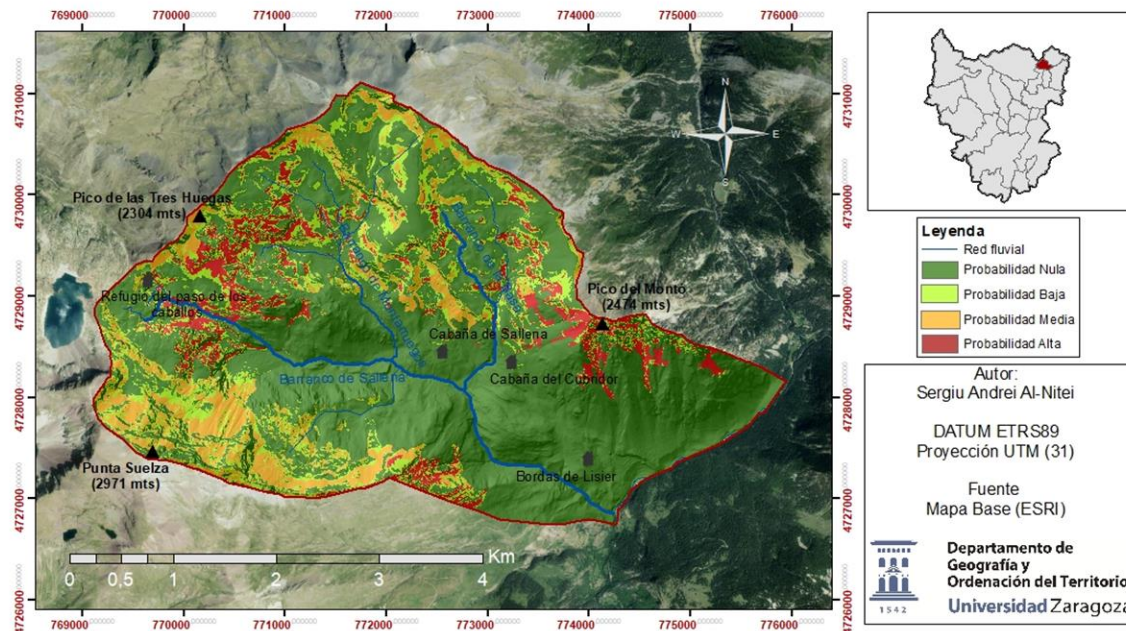
Mapa de Probabilidad de Arranque de Aludes. ENERO Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)



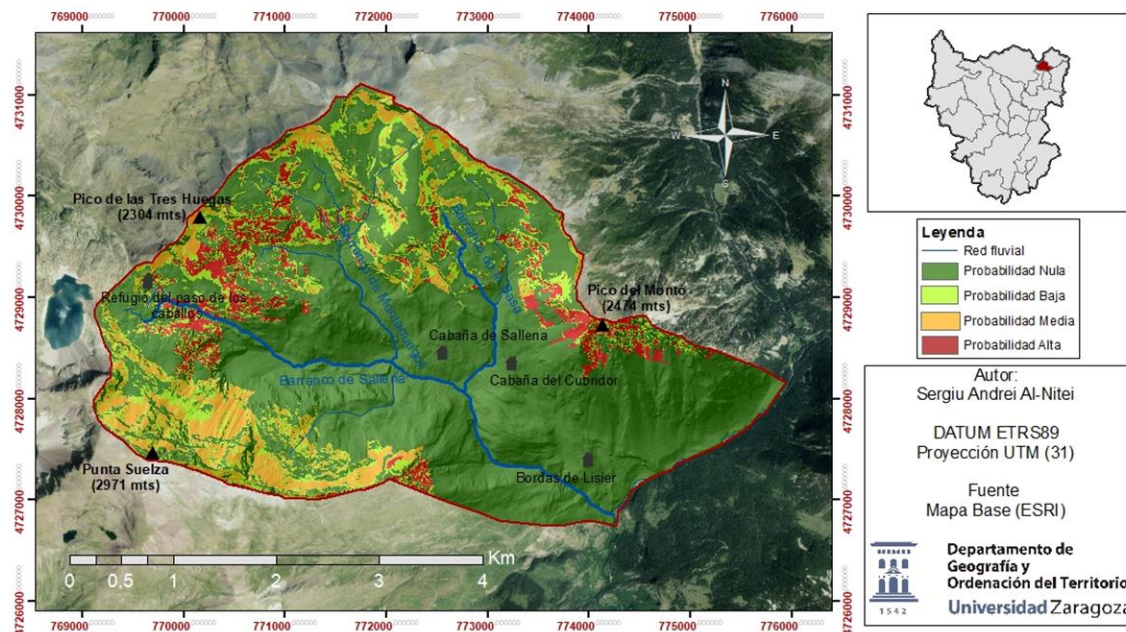
Mapa de Probabilidad de Arranque de Aludes. FEBRERO Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)



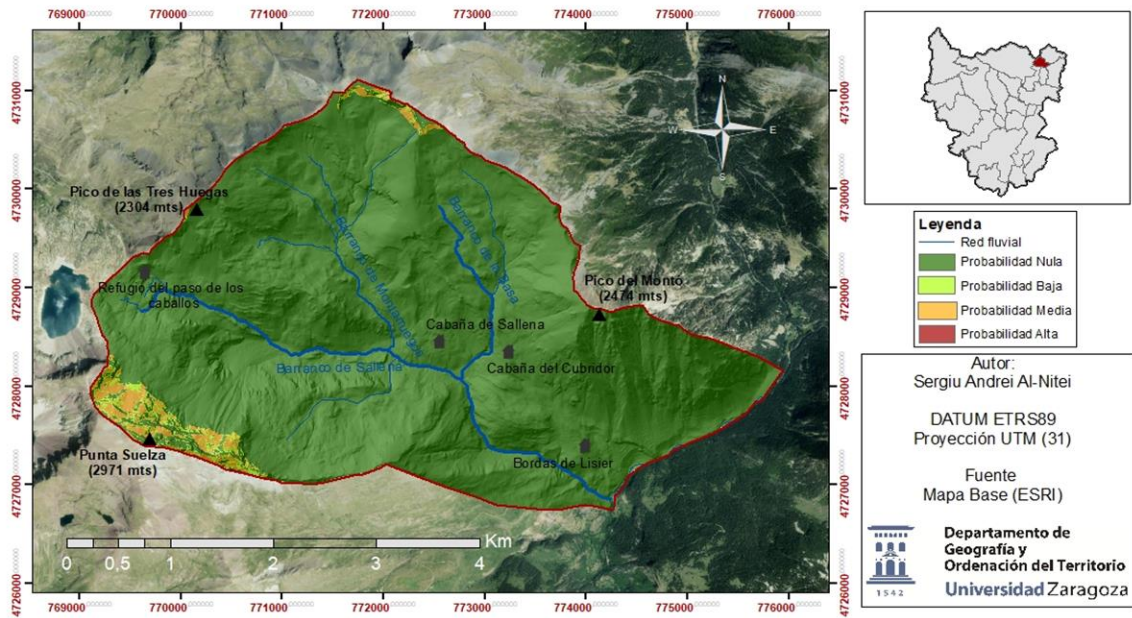
Mapa de Probabilidad de Arranque de Aludes. MARZO Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)



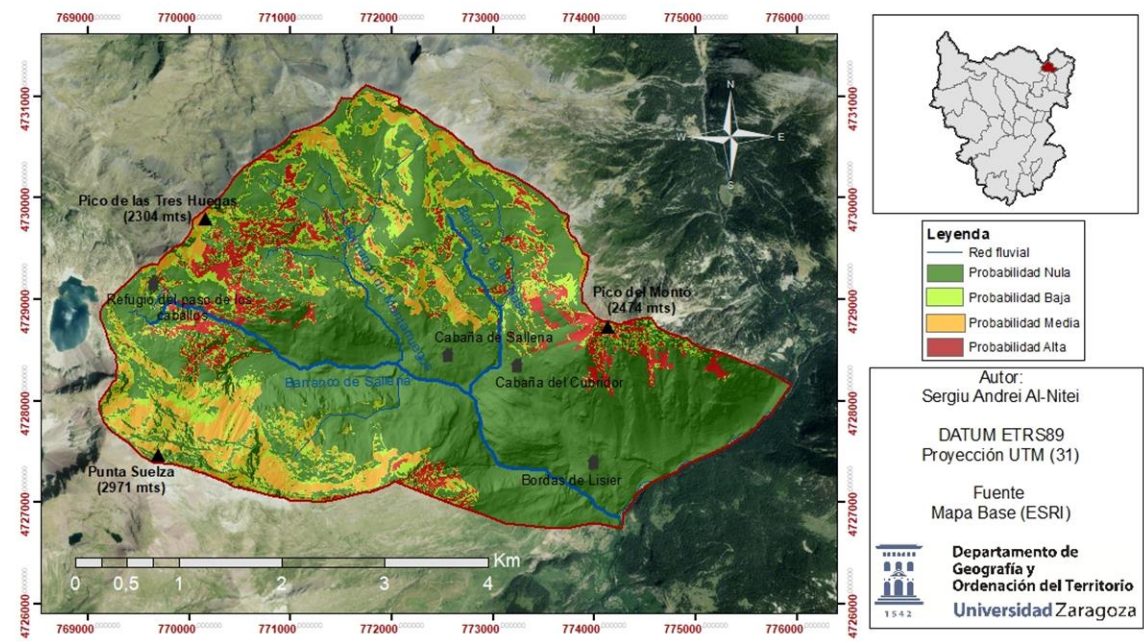
Mapa de Probabilidad de Arranque de Aludes. ABRIL Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)



Mapa de Probabilidad de Arranque de Aludes. MAYO Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)



Mapa de Probabilidad de Arranque de Aludes. MEDIA INVERNAL Valle de Sallena (Gistaín, Pirineo Aragonés)



Para cada uno de los meses de análisis calculamos la superficie en Km² de cada una de las categorías de probabilidad de arranque de aludes estudiadas, así como el porcentaje % de esta superficie de terreno con respecto del total.

Teniendo en cuenta que la zona de estudio cuenta con una superficie de 17,38 km², la extensión de los sectores donde es probable o no el arranque de aludes quedaría de la siguiente manera.

El mes menos susceptible de inicio de arranque de aludes sería el de mayo, con una probabilidad nula del 97,2% y un 0% de probabilidad alta, seguido del mes de noviembre con unos datos del 77,4% de nulidad. Respecto del resto de meses los valores suben y las probabilidades se equilibran en torno a datos negativos, rondando el 30% de susceptibilidad al inicio de arranque de aludes.

Noviembre	(Km ²)	% del valle
Probabilidad nula	13,45	77,4%
Probabilidad baja	1,83	10,6%
Probabilidad media	1,32	7,6%
Probabilidad alta	0,77	4,4%

Diciembre	Km ²	% del valle
Probabilidad nula	11,9	68,5%
Probabilidad baja	2,52	14,5%
Probabilidad media	1,62	9,3%
Probabilidad alta	1,33	7,7%

Enero	Km ²	% del valle
Probabilidad nula	11,82	68%
Probabilidad baja	2,56	14,7%
Probabilidad media	1,65	9,5%
Probabilidad alta	1,35	7,8%

Febrero	Km ²	% del valle
Probabilidad nula	11,81	67,9%
Probabilidad baja	2,55	14,8%
Probabilidad media	1,65	9,5%
Probabilidad alta	1,35	7,8%

Marzo	Km ²	% del valle
Probabilidad nula	12,00	69,1%
Probabilidad baja	2,45	14,1%
Probabilidad media	1,61	9,3%
Probabilidad alta	1,30	7,5%

Abril	Km ²	% del valle
Probabilidad nula	12,7	73%
Probabilidad baja	2,15	12,4%
Probabilidad media	1,45	8,3%
Probabilidad alta	1,1	6,3%

Mayo	Km ²	% del valle
Probabilidad nula	16,9	97,2%
Probabilidad baja	0,18	1%
Probabilidad media	0,32	1,8%

Media Invernal	Km ²	% del valle
Probabilidad nula	12,1	69,5%
Probabilidad baja	2,43	14%
Probabilidad media	1,61	9,2%
Probabilidad alta	1,27	7,3%

Tablas 3-10: Superficie (km² y %) susceptible al arranque de aludes
Fuentes: Elaboración propia

6. Conclusión

El proyecto en sí es un acercamiento hacia el análisis de los riesgos naturales de importancia, y en este caso en concreto, se basa en el estudio del arranque de aludes del Valle de Sallena, situado en el Pirineo Aragonés.

Aunque el estudio sea de gran precisión, no es más que la fase inicial y general de lo que sería un verdadero estudio de arranque de aludes de una zona concreta, ya que no son referentes al estudio completo, sino solo a la probabilidad de que este fenómeno suceda, sin tener en cuenta las variables indirectas como la dirección y velocidad del viento, el espesor del manto nivoso, la variación de temperaturas o la cantidad de precipitaciones.

A pesar de ello es de gran utilidad a la hora de hacernos una primera idea de las zonas más peligrosas a este fenómeno en función del mes en el que nos encontremos y puede servir para estudios de riesgos naturales posteriores.

El incremento del turismo pirenaico y de los practicantes de deportes de montaña, como es el caso del esquí, el barranquismo, el rapel o el senderismo crean una alta necesidad de este tipo de estudios de riesgos naturales, con el fin de proteger al turista y deportista de montaña. En nuestro caso el arranque de aludes no supone un gran peligro para el ser humano en comparación con otros fenómenos, sin embargo, lo que queremos decir es que es necesario el aumento de estudios con carácter de riesgo natural.

Para poder realizar estos estudios y análisis, el uso de los Sistemas de Información Geográfica se ha convertido en una de las principales herramientas para elaborar informes de probabilidad y susceptibilidad de riesgos naturales.

7. Bibliografía y documentación complementaria

- CHUECA et al, (2009), "Alud de 2008 producido en el Circo de Musales (Pirineo Aragonés)"
- MELCHOR, S. (2016). "Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Vallibierna (Pirineo central Aragonés)". Universidad de Zaragoza
- AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA, (2015).: "La Guía de Aludes". Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- ESTEBAN ORTÍN (2023). "Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle del río real, Bielsa (pirineo aragonés) mediante el uso de sistemas de información geográfica". Universidad de Zaragoza
- (CHUECA, J., LAPEÑA, A., LÓPEZ, I., JULIÁN, A., PEÑA, J.L., ZABALA, J., 2000. "Cartografía de zonas probables de aludes en el Pirineo aragonés"
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA, Portal de Cartografía.
- CHUECA, J. y JULIAN, A. (2010): "Cartografía de zonas probables de salida de aludes en el alto Gállego (Pirineo Central Aragonés) mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica".
- CHUECA, J., JULIÁN, A., LÓPEZ, J.I., PEÑA, J.L. y CAMINS, J., 2004: "Análisis de la evolución reciente de los glaciares del macizo de la Maladeta (Pirineo Central español). cuantificación de pérdidas de superficie y volumen". Boletín Glaciológico Aragonés.
- A. JULIÁN ANDRÉS, J. CHUECA CÍA y J.L. PEÑA MONNÉ: "El relieve del alto Gállego (Pirineo Aragonés)" 2002.
- IRENE PEREZ CACERES (2012) "Estructura y metamorfismo de la Zona Axial Pirenaica en el sector suroccidental del Macizo de Lys-Caillaouas (Huesca, España)". Universidad de Oviedo.
- MARÍA JOSE VILLANUEVA, HERALDO (2019), "Aludes mortales en el Pirineo".
- CARBONELL, A. (2020): "Análisis cartográfico mediante Sistemas de Información Geográfica de la probabilidad de arranque de aludes en el Circo de Barrosa (Pirineo Aragonés)". Universidad de Zaragoza