



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

**Estudio de la probabilidad de arranque de aludes  
en la cuenca de Cinqueta de la Pez (Pirineo Central  
Aragonés)**

Study of the probability of avalanche starting zones  
in the Cinqueta de la Pez basin (Central Aragonese  
Pyrenees)

Autor

**Guoyou Wang**

Director

**Javier Chueca Cía**

Grado en Geografía y Ordenación del Territorio  
Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio  
Curso 2022/23

## Resumen

El objetivo de este proyecto de trabajo de fin de grado (TFG) es generar un mapa detallado de la probabilidad de avalanchas en la cuenca de Cinqueta de la Pez en la cordillera de los Pirineos utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Para lograr este objetivo, se han considerado principalmente tres variables: la ubicación de la línea de 0°C, la pendiente y la cobertura vegetal. Estas variables son factores directos en el proceso de desencadenamiento de avalanchas. Además, se ha evaluado las condiciones meteorológicas en la zona para predecir la probabilidad de ocurrencia de avalanchas.

En resumen, este estudio tiene como objetivo proporcionar información detallada sobre la probabilidad de avalanchas en la cuenca de Cinqueta de la Pez. Esto contribuirá a mejorar y ampliar la cartografía existente de este tipo de fenómenos naturales en la cordillera de los Pirineos. Las conclusiones se presentarán en base al marco teórico, los métodos utilizados y los resultados obtenidos en este estudio.

**Palabras clave:** *Avalanchas, Cinqueta de la Pez, Probabilidad, Sistema de Información Geográfica, Pirineos.*

## Abstract

The objective of this final degree project (TFG) is to generate a detailed map of avalanche probability in the Cinqueta de la Pez basin in the Pyrenees Mountain range using a Geographic Information System (GIS).

To achieve this goal, three main variables have been considered: the location of the 0°C isotherm, slope, and vegetation cover. These variables are direct factors in the avalanche triggering process. Additionally, meteorological conditions in the area have been evaluated to predict the probability of avalanche occurrence.

In summary, this study aims to provide detailed information about avalanche probability in the Cinqueta de la Pez basin. This will contribute to improving and expanding the existing mapping of this type of natural phenomenon in the Pyrenees Mountain range. The conclusions will be presented based on the theoretical framework, methods used, and results obtained in this study.

**Keywords:** *Avalanches, Cinqueta de la Pez, Probability, Geographic Information System, Pyrenees.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Objetivo</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Área de estudio</b>	<b>8</b>
3.1	Ubicación	8
3.2	Localización	8
3.3	Características del entorno	9
3.3.1	Geomorfología y litología	9
3.2.2	Climatología e hidrología	10
3.2.3	Vegetación	11
3.2.4	Presencia y acción antrópica	12
<b>4</b>	<b>Metodología</b>	<b>14</b>
4.1	Macro Teórico	14
4.2	Criterios	16
4.3	Fuentes de información utilizadas	17
4.4	Elaboración de las cartografías	17
<b>5</b>	<b>Resultados y Discusión</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Conclusión</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>29</b>

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

<i>Tabla 1. Factores Variables y Fijos que Influyen en los Aludes.Fuente:Elaboración propia por actores De Desencadenamiento De Los Aludes. ....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente de datos: Elaboración propia. ....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2.Foto del área de estudio. Fuente de datos: Blog de Ramo, L.,2018. ....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3.Bielsa mapa del tiempo. Fuente: Climate-data.org. ....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 4.Tabla de la Clima. Fuente: Climate-data.org. ....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 5.Mapa de usos de suelo en área de estudio. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 6.Senderos y arroyos. Fuente: Ramo, L. ....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 7.Actividades agrícolas en el área de estudio. Fuente: Ramo, L. ....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 8.Variación mensual de la Isoterma 0º. ....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 9.Mapa de pendientes de área de estudio. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 10.Mapa de pendientes. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 11. Superficie de la pendiente. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 12. Mapa de la Cubierta del terreno. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 13. La tasa de la Cubierta vegetal. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 14. Superficie por encima de la isoterma de 0 grados. Fuente: Elaboración propia. ....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 15.Límite altitudinal isoterma de 0 grados del mes 11,12,1,2,3,4,5 y Media invernal. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 16.Probailidad de arranque de aludes del mes 11,12,1,2,3,4,5 y Media invernal. ....</i>	<i>26</i>

## 1 Introducción

“Una avalancha, a veces llamada deslizamiento de nieve, es el rápido flujo de nieve, hielo y/o rocas por una pendiente o montaña. Pueden desencadenarse por fuerzas naturales como precipitaciones, terremotos o el debilitamiento del manto de nieve. También pueden ser causados por la actividad humana cuando alguien camina o cabalga sobre un área débil de nieve.” (Avalanchas | IFRC, n.d.)

Por lo general, son el resultado de la interacción de diversos factores, incluyendo factores internos como la vegetación, la topografía y la geología, y factores externos como el clima, la lluvia, el viento y la actividad humana. Las avalanchas suelen tener graves consecuencias, incluyendo pérdida de vidas humanas y daños materiales.

“Hay una serie de factores que influyen en la modificación de las fuerzas que actúan en el manto nivoso y por tanto modifican su estabilidad. Los podemos dividir en dos grandes grupos: factores variables y factores fijos.” (3.5.4. Factores De Desencadenamiento De Los Aludes, n.d.)

<b>Factores variables</b>	<b>Factores fijos</b>
Temperatura del aire	Altitud
Viento	Pendiente
Precipitación	Morfología
Estado de la nieve	Orientación
Sobrecargas	Rugosidad

*Tabla 1. Factores Variables y Fijos que Influyen en los Aludes. Fuente: Elaboración propia por actores*

### *De Desencadenamiento De Los Aludes.*

“La tormenta, la temperatura, el viento, la pendiente pronunciada, el terreno, la vegetación y las condiciones generales de la capa de nieve son factores que influyen en si se produce un alud y qué tipo de alud ocurre.” (Avalanche, n.d.)

La ocurrencia de avalanchas implica múltiples factores, tanto internos como externos. Los factores internos incluyen la topografía, la vegetación y la geología, los cuales afectan la estabilidad y la estructura de las capas de nieve. Por otro lado, los factores externos comprenden la temperatura, las precipitaciones y los factores humanos.

Las avalanchas pueden presentarse en distintas formas, como avalanchas de nieve húmeda y avalanchas de nieve seca. Las avalanchas de nieve húmeda ocurren en condiciones climáticas cálidas, cuando la nieve contiene una gran cantidad de humedad y se desliza como una masa de barro. Por otro lado, las avalanchas de nieve seca ocurren en condiciones climáticas frías, cuando la nieve es más seca y se desliza en forma de polvo. Entre los tipos de avalanchas más comunes se encuentran los deslizamientos de ladera, las avalanchas de impacto y las avalanchas de rocas. El grado de daño que causan estos diferentes tipos de avalanchas varía dependiendo del entorno local y de las personas afectadas.

Las avalanchas representan un peligro significativo, con un impacto importante en términos de pérdida de vidas humanas y daños a la propiedad. Cada año, un número

considerable de personas fallecen en avalanchas alrededor del mundo. Además, las avalanchas pueden tener efectos a largo plazo en el medio ambiente, como la destrucción de árboles y la erosión del suelo. En el caso de los recursos forestales, las avalanchas pueden causar la destrucción de una gran cantidad de árboles, lo que resulta en pérdidas para los ecosistemas forestales.

En áreas de estudio, a medida que las condiciones económicas de las personas mejoran y aumenta el interés en la región, tanto la sociedad como el gobierno comienzan a implementar políticas relacionadas con la planificación territorial y la protección del ecosistema natural. Las personas también comienzan a visitar estas áreas para fines turísticos. Las medidas para controlar las avalanchas incluyen la construcción de estructuras protectoras, como terraplenes y redes de contención, la reforestación para aumentar la cobertura vegetal, y la implementación de sistemas de monitoreo y advertencia de avalanchas. Estas acciones pueden ayudar a reducir los riesgos asociados con las avalanchas y proporcionar herramientas más detalladas para que los gobiernos consideren al planificar actividades y políticas territoriales. El objetivo de este estudio es analizar y obtener datos sobre la probabilidad de avalanchas en la región utilizando estas variables.

En España, la mayoría de las avalanchas ocurren en la cordillera de los Pirineos, debido a la distribución geográfica de terrenos abruptos, un relieve accidentado y altitudes elevadas que favorecen la acumulación de nieve.

El turismo es un sector importante en España y en los últimos años ha habido un crecimiento significativo en la industria de viajes, especialmente en actividades al aire libre como senderismo, esquí, motos de nieve, escalada y camping, que son cada vez más populares. La región de estudio cuenta con una abundante belleza natural que atrae a numerosos turistas. Según informes de HERALDO, la temporada de esquí se ha reactivado con una ocupación del 90% en los hoteles situados cerca de las pistas.

En la zona de estudio, la actividad económica principal está relacionada con el turismo, así como con recursos forestales y ganadería en menor medida. Según los datos mencionados anteriormente, la presencia de avalanchas representa una amenaza potencial para el desarrollo del turismo y la ganadería local.

Por lo tanto, es crucial llevar a cabo un análisis de la probabilidad de avalanchas en la región. Con el desarrollo económico, el interés social y gubernamental en la zona, así como las políticas de planificación territorial y conservación ambiental, se vuelve aún más importante estudiar la probabilidad de avalanchas en esta área. Esto proporcionará una herramienta de referencia más detallada para la planificación de actividades y políticas territoriales por parte del gobierno.

En el próximo trabajo, se utilizará un Sistema de Información Geográfica (SIG) a una escala de 1:25,000 para analizar la probabilidad de avalanchas en la cuenca de Cinqueta de la Pez, ubicada en la parte central de la cordillera de los Pirineos en Aragón. Se analizarán variables como la cobertura y tipo de vegetación, la pendiente y las isoterma 0°C desde noviembre hasta mayo.

## 2 Objetivo

El objetivo principal de este estudio es realizar un análisis exhaustivo de la probabilidad de ocurrencia de avalanchas en la cuenca de Cinqueta de la Pez utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esto se logrará mediante la identificación y análisis de los factores que pueden desencadenar avalanchas en la zona, y generando mapas visuales y comprensibles.

Realizar un análisis exhaustivo de la probabilidad de desencadenamiento de avalanchas en la cuenca de Cinqueta de la Pez. Para lograr este objetivo, se considerarán factores como las condiciones climáticas, incluyendo las isoterma 0°C, las precipitaciones y las fluctuaciones de temperatura. Estos factores afectan la formación y estabilidad de la capa de nieve, así como el tipo de avalancha, ya sea seca o húmeda.

La topografía también desempeña un papel importante, ya que las pendientes empinadas y ciertos tipos de terreno, como los cañones y las cuencas, aumentan el riesgo de avalanchas. Por otro lado, la vegetación del suelo puede ayudar a estabilizar la capa de nieve y reducir los daños causados por las avalanchas, mientras que una vegetación escasa o la exposición del suelo aumentan la magnitud de las avalanchas.

Se generarán mapas que representen la probabilidad de avalanchas durante los meses de noviembre a mayo, ya que, según datos históricos de temperatura local, se ha determinado que después de mayo las temperaturas son demasiado altas para que se produzcan condiciones propicias para avalanchas.

Además del objetivo principal, el proceso de investigación también incluirá la generación de mapas de uso del suelo en el área de estudio, lo que proporcionará información visual sobre la vegetación presente y su influencia en la mitigación de avalanchas. También se elaborarán mapas de pendientes para comprender la topografía general y la presencia de pendientes pronunciadas en la zona. Se realizará un análisis de las temperaturas para determinar el tipo de clima local y las tendencias climáticas anuales aproximadas.

Los resultados de este estudio serán útiles como herramienta de toma de decisiones para el gobierno en la implementación de políticas de planificación espacial y conservación ambiental, así como para el desarrollo de planes turísticos por parte de los municipios. También proporcionarán información valiosa para la industria forestal y los equipos de rescate de emergencia.

En cuanto al público en general, los resultados podrán servir como referencia para planificar rutas seguras y evitar áreas de avalanchas peligrosas durante actividades recreativas y deportivas al aire libre. Asimismo, brindarán orientación en cuanto a la ubicación de establecimientos de la industria de la hospitalidad (hoteles, bares, alojamientos) y la planificación de itinerarios turísticos por parte de agencias de viaje.

### **3 Área de estudio**

En esta sección se proporcionará una descripción completa de diversas características del área de estudio, respaldada por datos y representaciones cartográficas que mostrarán de manera visual las características físicas de la zona.

En primer lugar, se identificará y delimitará la ubicación del área de estudio, y dentro de esta región se presentarán las características ambientales, como la vegetación, el clima, la hidrología y la geomorfología, con el objetivo de proporcionar una comprensión tridimensional de la zona.

#### **3.1 Ubicación**

La cuenca de Cinqueta de la Pez se encuentra en el corazón de la cordillera de los Pirineos, en un valle con tres lados elevados y uno más bajo, en la frontera entre España y Francia. Está ubicada en la comarca de Sobrarbe, en la provincia de Huesca, en la comunidad autónoma de Aragón, España. El área de estudio se encuentra completamente dentro del municipio de Gistaín, que tiene una población de solo 168 habitantes.

El área de estudio está situada dentro del Parque Natural Posets Maladeta, un espacio natural protegido.

#### **3.2 Localización**

La cuenca de Cinqueta de la Pez se encuentra en el corazón de la cordillera de los Pirineos, en un valle con tres lados elevados y uno más bajo, en la frontera entre España y Francia. Está ubicada en la comarca de Sobrarbe, en la provincia de Huesca, en la comunidad autónoma de Aragón, España. El área de estudio se encuentra completamente dentro del municipio de Gistaín, que tiene una población de solo 168 habitantes.

El área de estudio está situada dentro del Parque Natural Posets Maladeta, un espacio natural protegido.

Según la Figura 1, podemos observar esta es una cuenca orientada de norte a sur, con una longitud de aproximadamente 4 kilómetros y un ancho de aproximadamente 6 kilómetros. La topografía muestra tres lados elevados y uno más bajo. El principal río de la zona es el río Cinqueta de la Pez, que fluye desde el sur hacia el valle. En la zona del cauce del río y los barrancos adyacentes, la altitud es más baja, y también hay dos pequeños lagos en la parte este.

Las pendientes más pronunciadas se concentran en los bordes externos de la cuenca, es decir, en las zonas limítrofes. Además, a lo largo del cauce del río Cinqueta de la Pez, también se encuentran pendientes pronunciadas y terrenos escarpados, lo que crea condiciones favorables para la formación de avalanchas. El resto del terreno es relativamente plano.

## Localización del área de estudio

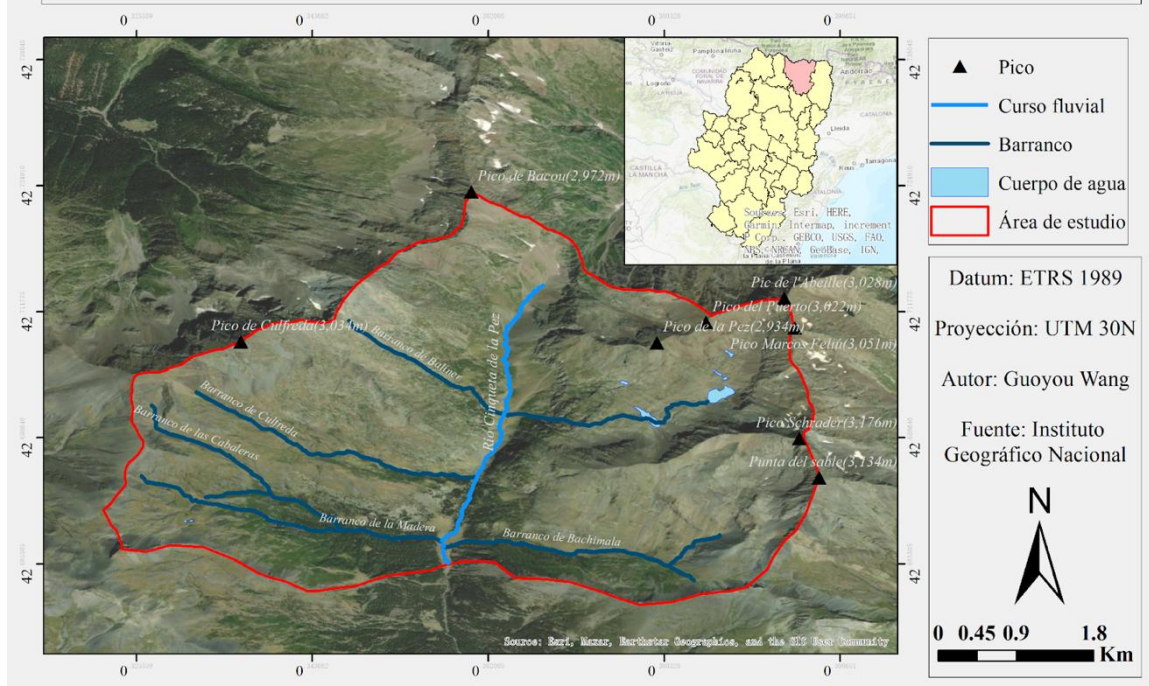


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente de datos: Elaboración propia.

### 3.3 Características del entorno

Esta sección analiza los aspectos físicos del entorno en el área de estudio. Se estudian las características físicas del entorno en el área de estudio, que desempeñan un papel crucial en la dinámica de los avalanches. Se examina la topografía, incluyendo la pendiente, altitud y relieve, así como la distribución y tipo de cobertura del terreno, como rocas, vegetación y cuerpos de agua. También se analizan los patrones climáticos, la geología y la hidrología del área. Estos factores influyen en la formación, acumulación y liberación de la nieve, y pueden aumentar o disminuir el riesgo de avalanches. Comprender estas características es fundamental para evaluar y prevenir los peligros asociados con los avalanches en el entorno de estudio.

#### 3.3.1 Geomorfología y litología

La zona de estudio se encuentra en los Pirineos Axiales, una región compuesta por materiales paleozoicos plegados durante la orogenia hercínica. Debido a la alta resistencia de estos materiales, se generaron paisajes de relieve más pronunciado en los Pirineos aragoneses (J. L. Peña y M.V. Lozano, 2004).

En cuanto a la litología del área de estudio, está principalmente compuesta por una "alternancia de pizarras y cuarcitas, segmentos de pizarras, cuarcitas y cuarcita-esquistos del Cámbrico-Ordovícico, cuyo metamorfismo está relacionado con el macizo granítico de Bielsa. Además, encontramos materiales más jóvenes asociados a la actividad cuaternaria, principalmente en forma de escombros de ladera" (Ramo, 2018).

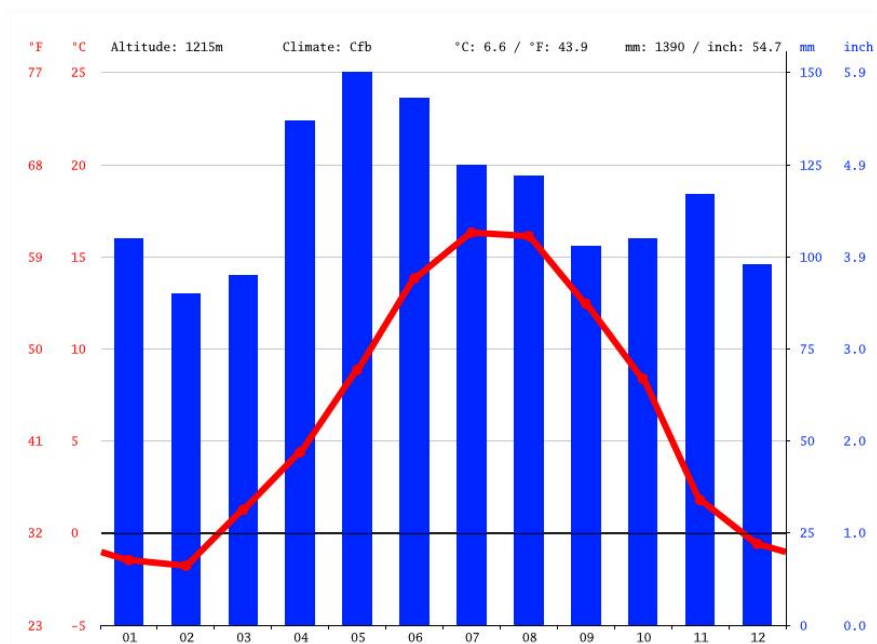


*Figura 2. Foto del área de estudio. Fuente de datos: Blog de Ramo, L., 2018.*

### 3.2.2 Climatología e hidrología

En cuanto a la climatología y la hidrología, se seleccionaron los datos climáticos del municipio de Bielsa, que cuenta con estaciones meteorológicas cercanas y proporciona datos bastante completos.

Según la clasificación climática de Köppen, la zona se encuentra en la categoría cfb, correspondiente al clima oceánico. En la zona de estudio, hay precipitaciones abundantes a lo largo de todo el año, sin una gran diferencia entre los meses secos y los meses húmedos. Los mayores registros de precipitación se observan entre los meses 4, 5 y 6. Podemos observar por las Figuras 4 y 5. Durante los meses fríos de noviembre a marzo, las precipitaciones suelen presentarse en forma de nieve. La precipitación promedio mensual es de 115 mm.



*Figura 3. Bielsa mapa del tiempo. Fuente: Climate-data.org.*

En cuanto a las temperaturas, los veranos son frescos, mientras que las temperaturas mínimas se registran en enero y febrero. Las temperaturas máximas se alcanzan en julio y agosto. La temperatura promedio es de 6.6 grados. El verano se extiende desde junio hasta septiembre.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep-tiembre	Octubre	Noviem-bre	Diciem-bre
Temperatura media (°C)	-1.5	-1.8	1.3	4.4	8.9	13.8	16.3	16.1	12.5	8.4	1.8	-0.6
Temperatura min. (°C)	-5	-5.5	-2.9	-0.1	4.1	8.9	11.3	11.3	7.8	4.5	-1.8	-4
Temperatura máx. (°C)	2.5	2.3	5.5	8.7	13.2	18.3	21	20.9	17.3	12.8	5.8	3.5
Precipitación (mm)	105	90	95	137	150	143	125	122	103	105	117	98
Humedad(%)	75%	76%	74%	75%	71%	65%	60%	60%	65%	73%	79%	72%
Días lluviosos (días)	10	9	10	13	14	13	12	12	11	10	10	9
Horas de sol (horas)	5.1	5.6	6.4	6.5	7.4	9.3	9.4	8.9	7.7	6.4	5.1	5.3

*Figura 4. Tabla de la Clima. Fuente: Climate-data.org.*

Además, otro factor importante es la duración de la nieve en la superficie de la montaña. En 1993, Chueca realizó una estimación basada en los diferentes niveles de complejidad morfodinámica observados en la Alta Ribagorza Aragonesa:

- Complejo morfodinámico subnival (por encima de los 2.400 m de altitud): la cobertura de nieve se mantiene durante aproximadamente 190-200 días al año, persistiendo hasta bien entrada la temporada de verano.
- Complejo morfodinámico alpino (altitudes entre 1.750-1.900 y 2.400 m): la presencia de nieve se reduce tanto en términos espaciales como temporales, con una duración de aproximadamente 150 días al año y tendiendo a desaparecer hacia el mes de mayo.
- Complejo morfodinámico subalpino (por encima de los 1.400 m de altitud y la capa inmediatamente superior): el manto de nieve no se mantiene más de 80-100 días al año.

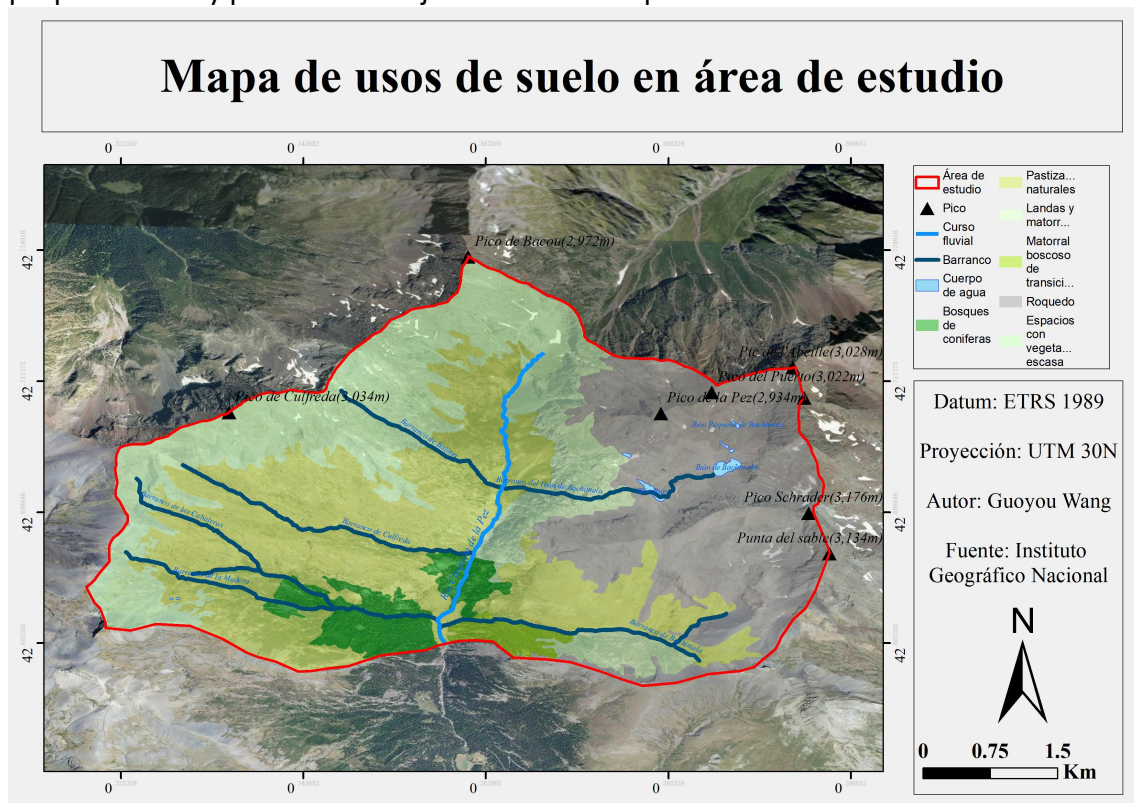
Cabe mencionar que el origen y ocurrencia de avalanchas no difirió entre los tres niveles y no varió con la altitud (Chueca, 1993).

En cuanto a la hidrología de la zona, la red fluvial es relativamente simple, con el río Cinqueta de la Pez como el principal río que fluye desde el sur hacia el norte. Este río alimenta a todos los barrancos de la zona, así como a dos cuerpos de agua principales, el ibón bajo y el ibón de Bachimala.

### 3.2.3 Vegetación

Según la Figura 6, el área de estudio muestra una distribución variada de vegetación, incluyendo bosques de coníferas en la periferia izquierda, pastizales naturales en el centro, landas y matorrales dispersos en varios puntos, roquedos (áreas rocosas) de ubicación desconocida, espacios con vegetación en la periferia derecha y áreas con vegetación escasa en ambos lados del área de estudio. Es

importante tener en cuenta que esta interpretación se basa en la descripción proporcionada y puede estar sujeta a cierta interpretación.



**Figura 5.** Mapa de usos de suelo en área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

La vegetación en la cuenca de Cinqueta de la Pez está dominada por especies típicas de los ecosistemas de alta montaña. Debido a la altitud y las condiciones climáticas, predomina la vegetación de alta montaña, como praderas a las pinas, matorrales de alta montaña y bosques de coníferas.

En las zonas más altas y expuestas, se encuentran pastizales alpinos compuestos por especies resistentes al frío y adaptadas a condiciones extremas, como gramíneas y líquenes. Les de alta montaña, donde arbustos como el enebro y el rododendro son comunes.

En las zonas más protegidas y húmedas, especialmente en los valles y laderas orientadas al norte, se desarrollan bosques de coníferas, principalmente de abetos y pinos. Nieve y reduce la velocidad del deslizamiento.

La vegetación en la cuenca de Cinqueta de la Pez desempeña un papel importante en el diámetro de la capa de nieve y en la reducción de los impactos de las avalanchas. influencia en la probabilidad de desencadenamiento de avalanchas y ayudar en la planificación y gestión del riesgo en el área.

### 3.2.4 Presencia y acción antrópica

En la cuenca de Cinqueta de la Pez, la presencia y acción antrópica es limitada debido a su ubicación remota y su baja densidad de población. Sin embargo, se pueden identificar algunas actividades humanas en la zona.

En primer lugar, el turismo y el ocio en la montaña son importantes en la cuenca. La belleza escénica de la zona, junto con sus características naturales, atrae a visitantes que realizan actividades como el senderismo, el montañismo, el esquí y la observación de la naturaleza. Esto puede tener un impacto en el entorno, especialmente si no se realizan de manera sostenible y se respetan las normas de conservación.



*Figura 6. Senderos y arroyos. Fuente: Ramo, L.*

En segundo lugar, la cuenca también alberga actividades ganaderas de pequeña escala, como la cría de ganado ovino y caprino. Estas actividades tradicionales tienen un impacto limitado en el medio ambiente, pero es importante gestionar adecuadamente el pastoreo para evitar la degradación de la vegetación y la erosión del suelo.

Además, es posible que se realicen actividades forestales en la cuenca, como la explotación de recursos madereros. Sin embargo, es importante asegurar que estas actividades se realicen de manera sostenible y se cumplan las regulaciones forestales para proteger los ecosistemas y prevenir la degradación del entorno.



*Figura 7. Actividades agrícolas en el área de estudio. Fuente: Ramo, L.*

En general, es necesario llevar a cabo una gestión adecuada de las actividades antrópicas en la cuenca de Cinqueta de la Pez, con el fin de minimizar su impacto en el medio ambiente y garantizar la conservación de este valioso entorno natural. La planificación y el manejo adecuado del turismo, la ganadería y las actividades forestales son fundamentales para garantizar la sostenibilidad y preservación a largo plazo de la cuenca.

## **4 Metodología**

En esta sección se expondrán los métodos empleados en la investigación. En primer lugar, se proporcionará el marco teórico del fenómeno estudiado. Además, se mostrarán las fuentes utilizadas en el estudio utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los estándares de referencia para la generación de mapas de probabilidad de avalanchas. Por último, se describirán los métodos utilizados para realizar el mapeo de riesgos de avalanchas en la cuenca de Cinqueta de la Pez en la cordillera de los Pirineos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

### **4.1 Macro Teórico**

“Los aludes están presentes en distintas cordilleras ibéricas (Pirineo, Cordillera Cantábrica, Sistema Central, Sierra Nevada, Macizo Galaico) pero es especialmente en el Pirineo de Huesca, Lleida y Girona y también en los Picos de Europa donde se registran con más frecuencia y donde han tenido históricamente un mayor impacto social y económico.” (AEMET,105).

Las avalanchas son el desplazamiento de una masa de nieve por una pendiente pronunciada debido a la fuerza de la gravedad. Existen tres tipos principales de avalanchas: las de nieve seca, que son avalanchas de polvo ligero que ocurren en terrenos empinados con nieve recién caída; las de nieve húmeda, que ocurren cuando la nieve tiene una humedad intermedia y se encuentran cerca del punto de fusión del hielo; y las de placa, que son avalanchas en las que una capa de nieve cohesionada se desprende de capas subyacentes menos estables. Las avalanchas de placa son especialmente peligrosas debido a su capacidad de propagarse rápidamente y cubrir grandes distancias.

“Las avalanchas accidentales tuvieron un incremento significativo en su número a partir del momento en que se empezó a recorrer en invierno las altas montañas pirenaicas con fines científicos y posteriormente deportivos, desde finales del siglo XVIII y especialmente desde mediados del XIX.” (García-Herrera, R., Calvo-Sánchez, C., & Sánchez-Laulhé, J. M.,2019).

Además de los factores naturales, según el estudio realizado por García-Herrera, Calvo-Sánchez y Sánchez-Laulhé, se puede concluir que a partir de finales del siglo XVIII y especialmente desde mediados del siglo XIX, cuando las personas comenzaron a explorar las altas montañas de los Pirineos en invierno con fines científicos y posteriormente deportivos, hubo un aumento significativo en el número de accidentes

de avalanchas. Esto indica que la actividad humana es un factor que contribuye a las avalanchas.

Durante este período, las personas comenzaron a adentrarse frecuentemente en áreas de montañas altas para realizar investigaciones científicas y practicar actividades al aire libre como el alpinismo y el esquí. Estas actividades pueden haber ejercido presión e impacto adicional sobre las capas de nieve y el terreno circundante, lo que resultó en un aumento en la ocurrencia de avalanchas. Además, es posible que las personas no tuvieran suficiente conocimiento y experiencia para evaluar y gestionar adecuadamente el riesgo de avalanchas, lo que contribuyó al aumento de accidentes.

En conclusión, se puede afirmar que la actividad humana es un factor que contribuye al aumento de avalanchas. Esto destaca la importancia de que aquellos que realizan actividades al aire libre en áreas de montañas altas comprendan y respeten los riesgos asociados con las avalanchas, tomando las medidas de seguridad y prevención adecuadas.

“Las dimensiones, las características y la velocidad a la que se desplazan los aludes son variables y determinan su grado de peligrosidad.” (De Wikiloc, 2022).

Las avalanchas pueden presentar características físicas como velocidad variable, volumen que va desde pequeñas acumulaciones de nieve hasta masas enormes, distancia recorrida que depende de la pendiente y otros factores, y capacidad destructiva que puede causar daños significativos. La densidad y humedad de la nieve también juegan un papel importante en su formación y propagación.

Para evaluar el riesgo de avalanchas se utilizan métodos como la generación de mapas de probabilidad que consideran datos del terreno, estabilidad de la nieve y condiciones meteorológicas. Además, se emplean criterios de clasificación de riesgo, como escalas de peligro, que consideran la estabilidad de la nieve, la pendiente del terreno, las condiciones meteorológicas y las cargas adicionales. Estos procesos permiten evaluar y comunicar el nivel de riesgo de avalanchas en determinadas áreas.

Por ejemplo, AEMET este boletín es una fuente confiable y actualizada para obtener información sobre el peligro de avalanchas en España. Puedes consultarlo regularmente para estar informado sobre las condiciones actuales y tomar las precauciones necesarias si planeas realizar actividades en áreas montañosas. La AEMET proporciona información actualizada sobre el nivel de peligro de avalanchas en diferentes regiones montañosas de España.

“El boletín de peligro de aludes (BPA) es una herramienta fundamental para la planificación de actividades y la gestión del riesgo cuando se acude a la montaña nevada.” (De Meteorología, n.d.)

## 4.2 Criterios

Los criterios de selección son necesarios antes de realizar el análisis. Es importante identificar las variables específicas que afectan las avalanchas y buscar datos relevantes para estudiar la probabilidad de avalanchas en una determinada área.

En cuanto a la selección de variables de avalanchas, se basa en el estudio de Chueca et al. (2009), donde se analizaron las avalanchas ocurridas en abril de 2008 en el circo de Musales. Este estudio identificó una serie de variables para el análisis de avalanchas.

**Variables directas:** Estas se refieren principalmente al estado físico de la región de estudio y no se ven afectadas por factores externos. Incluyen la pendiente, altitud, orientación, forma del terreno y vegetación existente.

**Variables externas:** Estas son influenciadas por factores externos como el clima y actividades humanas. Dado que hay poca influencia humana en la zona de estudio, estos factores se excluyen. Las variables externas incluyen la temperatura, el viento, la precipitación y la isoterma cero (estado y evolución de la nieve).

- **Pendiente:** Es el factor más importante en el análisis de la sensibilidad de las avalanchas. Tiene un impacto directo en la estructura y estabilidad de las avalanchas. Según los criterios de selección, se pueden clasificar en tres categorías: menos de 25 grados (estructura estable, baja probabilidad de avalanchas), 25-45 grados (mayor probabilidad de avalanchas) y más de 45 grados (generalmente difícil de formar una capa de nieve estable).
- **Cobertura vegetal:** Esta variable indica la resistencia de la vegetación frente a las avalanchas, es decir, su capacidad para reducir o aumentar el tamaño y la escala de las avalanchas. También afecta la acumulación de nieve y la probabilidad de avalanchas. En general, la presencia de vegetación con una matriz rugosa, como árboles, puede reducir la probabilidad y el tamaño de las avalanchas, mientras que una matriz no rugosa, como rocas expuestas o pastizales, puede favorecer la ocurrencia de avalanchas.
- **Altitud:** Esta variable se representa a través de la isoterma cero, que indica la altitud específica donde ocurren temperaturas de 0 grados Celsius. En este estudio, se considera significativo determinar la altitud de la isoterma cero para comprender la presencia y distribución de la nieve. Esto ayuda a identificar la ubicación de la línea de nieve, es decir, las áreas por encima de cierta altitud donde hay presencia de nieve. En particular, se analizan los meses en los que la altitud es inferior al promedio de la isoterma cero, basándose en el estudio de Chueca (2004), que incluye noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo.

Los criterios de selección mencionados anteriormente ayudan a identificar las variables clave para el análisis de avalanchas y a obtener una comprensión más profunda de la probabilidad de avalanchas en una región específica.

### 4.3 Fuentes de información utilizadas

Antes de comenzar la elaboración del mapa, se recopilaron los datos de las capas variables mencionadas anteriormente y los datos cartográficos básicos. El CNIG del IGN fue la principal fuente de información utilizada.

- Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA): Se descargó el área correspondiente a la hoja MTN25 0147-4, a una escala de 1:25000, para utilizarlo como fondo cartográfico y ubicar el área de estudio.
- Corine Land Cover 2018: Se utilizó para identificar el uso del suelo, confirmar los tipos de vegetación y áreas de cobertura.
- Modelo Digital de Elevación (MDT): Se generó un modelo de pendientes y líneas de isoterma utilizando datos de elevación.
- Hidrografía: Se utilizó para identificar la distribución de ríos, barrancos y ibones en el área de estudio.
- División administrativa: Se mostró la ubicación del área de estudio dentro de la comarca de Aragón en el segundo marco de datos.
- Para todas las capas utilizadas, se empleó el sistema de referencia ETRS 1989 y la proyección UTM zona 30N.

### 4.4 Elaboración de las cartografías

En esta sección, se describe detalladamente el proceso de generación del mapa. Para la generación del mapa, se utilizó el software ArcGIS 10.8 de ESRI.

En primer lugar, se delimitó el área de estudio utilizando la capa PNOA y CNIG's Mapa MTN25 RASTER. Se creó una nueva capa en el software y se utilizó la herramienta de edición para dibujar la zona de estudio específica.

Una vez delimitada el área, se recopilaron y descargaron los datos de las capas relevantes de acuerdo con los criterios y métodos de análisis previamente establecidos. Estos datos se importaron en ArcGIS para su posterior procesamiento y análisis.

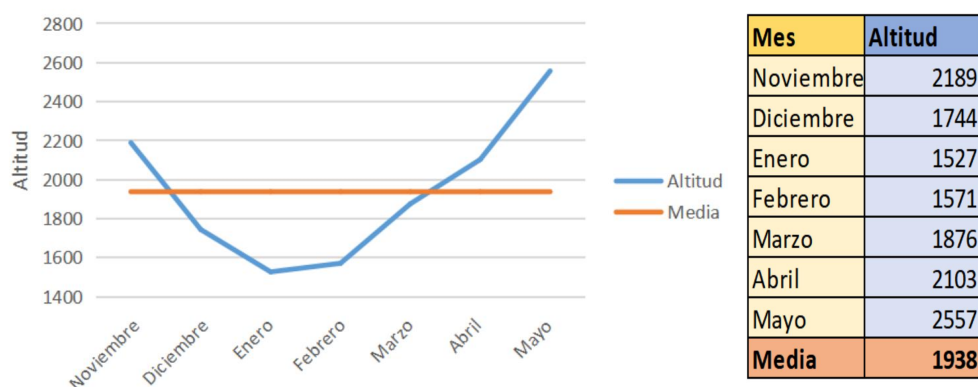
- Mapa de pendientes: En primer lugar, se utilizó la herramienta "Extraer por máscara" para recortar la capa raster del Modelo Digital de Terreno (MDT). Luego, se aplicó la herramienta "Hillshade" al MDT para obtener un mapa de pendientes del área de estudio.

Una vez obtenido el mapa de pendientes, se utilizó la herramienta "Reclassify" para asignar valores numéricos de acuerdo con los estándares obtenidos de la bibliografía de referencia. Estos valores numéricos se utilizaron para analizar la sensibilidad a avalanchas:

- Pendientes menores a 25 grados se asignó el valor 0 (indicando una estructura de capa de nieve estable con una baja probabilidad de avalanchas).

- Pendientes entre 25 y 30 grados se asignó el valor 100 (indicando una probabilidad media).
  - Pendientes entre 30 y 40 grados se asignó el valor 150 (indicando la zona con mayor probabilidad de avalanchas, por lo tanto, un valor más alto).
  - Pendientes entre 40 y 45 grados se asignó el valor 100 (indicando una probabilidad media).
  - Pendientes mayores a 45 grados se asignó el valor 0 (debido a que es difícil que se acumule nieve en pendientes tan pronunciadas, la probabilidad de avalanchas es baja).
- Cobertura vegetal: Para esta capa, se utilizó el conjunto de datos clc2018. Como el clc es una capa vectorial, se utilizó la herramienta "Polygon to Raster" para convertirla en una capa raster. Luego, se aplicó la herramienta "Reclassify" para asignar valores numéricos según la influencia de la vegetación en la ocurrencia de avalanchas:
- Bosque de coníferas se asignó el valor 0.
  - Pastizales naturales se asignó el valor 200.
  - Landas y matorrales se asignó el valor 50.
  - Matorral boscoso de transición se asignó el valor 50.
  - Roquedo se asignó el valor 150.
  - Espacios con vegetación escasa se asignó el valor 50.
- Cálculo de la isoterma de 0 grados.

Esta variable es importante en este estudio ya que indica que en elevaciones por encima de la isoterma de 0 grados, la principal expresión de la precipitación es la nieve. Este dato procede de CHUECA et. al. (2004). El estudio, que considera los meses de noviembre a mayo, tiene una isoterma de 0 grados de 2189 m, 1744 m, 1527 m, 1571 m, 1876 m, 2103 m y 2557 m, y finalmente se calculó un valor medio de 1938 m.



**Figura 8. Variación mensual de la Isoterma 0°.**

**Fuente: Elaboración propia por Fuente: CHUECA et al. (2004).**

A continuación, se asignaron valores a las capas de la MDT basados en los datos de la isoterma de 0 grados para cada periodo mensual utilizando la herramienta Reclasificar:

- Áreas por encima de la altura de la isoterma de 0 grados con un valor de 1.
- Área con una altitud inferior a la isoterma de 0 grados con un valor de 0,0.

Por último, utilizando la calculadora Raster, se ponderaron las variables anteriores para elaborar un mapa final de probabilidad de avalancha para los meses estudiados (de noviembre a mayo).

## **5 Resultados y Discusión**

En esta sección presento los resultados de los estudios previos de las variables seleccionadas, que se analizan y resumen con datos detallados. También se presentan diversos cartogramas de los factores asociados a las probabilidades finales de aludes y, por último, se muestran los cartogramas de probabilidades finales de aludes calculados.

Como se describe en la metodología, en primer lugar se presentará la cartografía de la pendiente de la zona de estudio.

Para la zona de estudio los puntos altos a ambos lados del valle del río cinqueta del pez son la distribución de pendientes altas en la zona de estudio, especialmente en la parte alta de la zona de estudio, al final del valle, que es la pendiente más alta de la zona de estudio. Le siguen pendientes más suaves en torno a unos pocos ibones en las zonas rocosas expuestas de la derecha y transiciones de pendiente más suaves en las zonas de vegetación boscosa de la izquierda.

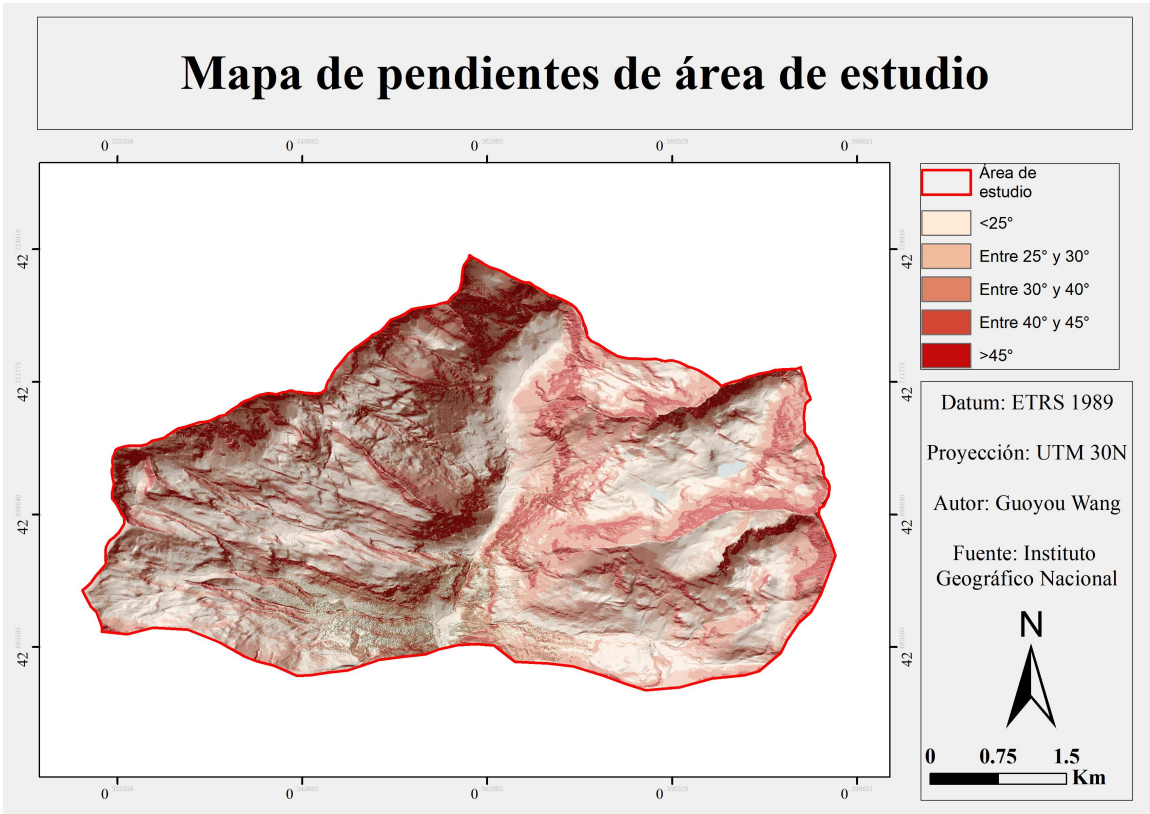


Figura 9. Mapa de pendientes de área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

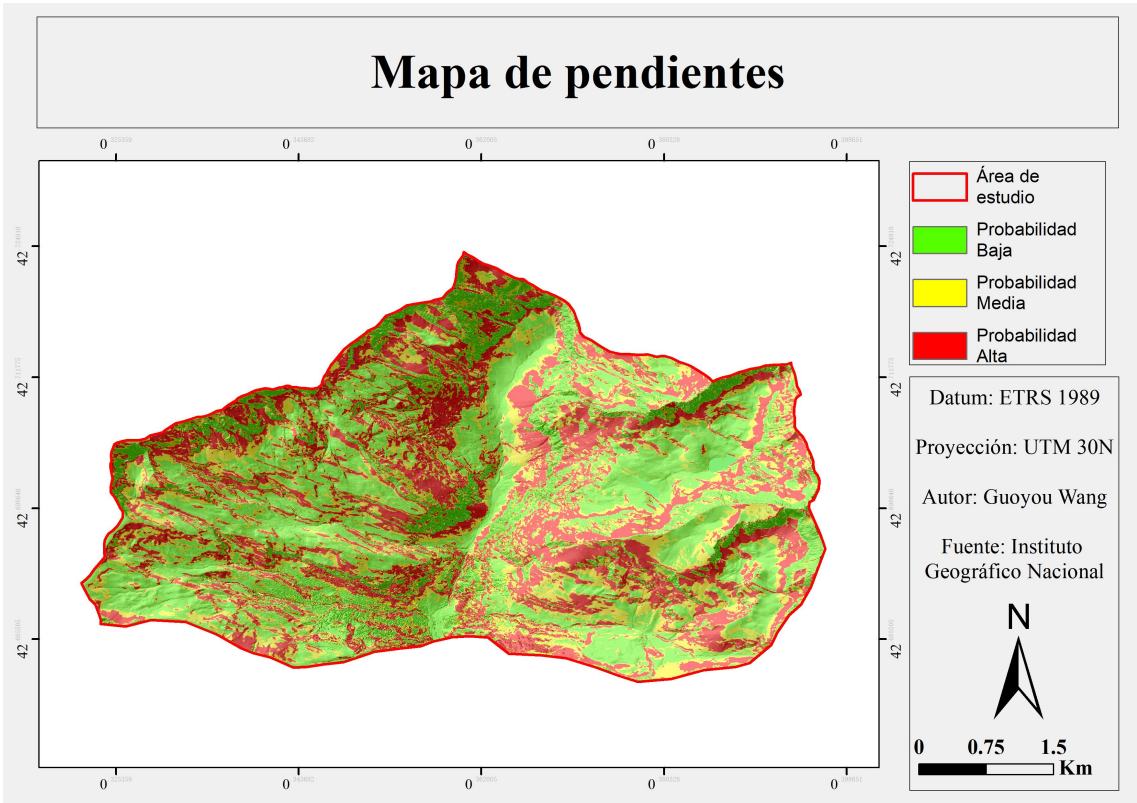


Figura 10. Mapa de pendientes. Fuente: Elaboración propia.

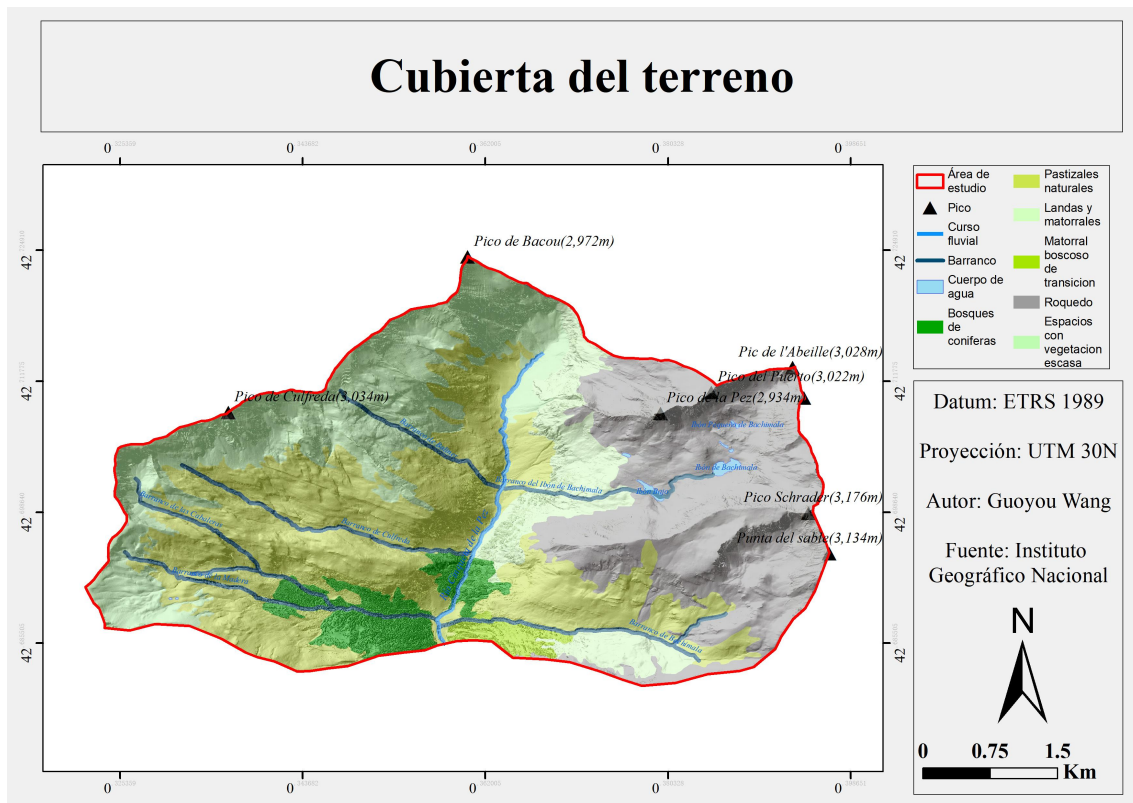
Según las Figuras 9 y 10, podemos obtener información sobre la distribución de las pendientes en la zona de estudio. Las áreas sombreadas o más oscuras representan pendientes más empinadas, mientras que las áreas más claras indican pendientes más suaves. En la cuenca de Cinqueta de la Pez, se observa que las pendientes más pronunciadas se encuentran en la parte alta del valle, especialmente al final del valle. También se identifican pendientes suaves alrededor de los ibones y transiciones de pendientes suaves en las zonas de vegetación boscosa. El mapa de pendientes proporciona una visualización de la topografía del terreno y es relevante para comprender la posibilidad de ocurrencia de avalanchas en diferentes áreas.

Tras la reclasificación según las normas anteriores, se observa que a ambos lados del valle del río se encuentran las zonas de mayor probabilidad de aludes, que representan el 31,20% de la superficie total. En la cuenca del río y en el ibón, las laderas son de pendiente suave y tienen una probabilidad de aludes baja, que no es suficiente para soportar el deslizamiento del manto de nieve, lo que representa el 42,16% de la superficie total, seguida de la zona de probabilidad media, que se encuentra en la transición entre la pendiente alta y la pendiente del terreno y es también una zona de alta ocurrencia de aludes, lo que representa el 26,64% de la superficie total.

Probabilidad	Superficie(%)
Baja	42,16
Media	26,64
Alta	31,20

**Figura 11. Superficie de la pendiente. Fuente: Elaboración propia.**

En segundo lugar, en cuanto a la cubierta vegetal, los diferentes tipos de cubierta vegetal tienen cierta influencia en la magnitud de la intensidad de la avalancha. La figura siguiente presenta un mapa de la cubierta del terreno, en el que se puede ver que la parte derecha de la zona de estudio tiene zonas de roca desnuda sin cubierta vegetal. En la entrada del valle del río, justo debajo de la zona de estudio, es el único lugar donde se pueden encontrar árboles, situados alrededor del río y con recursos hídricos suficientes para su crecimiento. A medida que aumenta la elevación, la cubierta arbórea disminuye y a esta altura domina el matorral.



**Figura 12. Mapa de la Cubierta del terreno. Fuente: Elaboración propia.**

Tipo de cobertura	Superficie(%)
Bosques de coníferas	5,24
Pastizales naturales	35,28
Landas y matorrales	8,39
Matorral boscoso de transición	1,46
Roquedo	27,56
Espacios con vegetación escasa	22,07

**Figura 13. La tasa de la Cubierta vegetal. Fuente: Elaboración propia.**

A través de la Figura 12, "Mapa de la Cubierta del terreno", podemos obtener información sobre la composición y distribución de la superficie terrestre en la zona de estudio. El mapa muestra diferentes tipos de cobertura, como bosques, praderas, áreas rocosas y cuerpos de agua.

El mapa nos permite identificar las áreas con presencia de vegetación, como bosques y praderas, así como las áreas sin vegetación, como las zonas rocosas. Esto es importante porque la vegetación desempeña un papel crucial en la estabilización del suelo y puede influir en la probabilidad de ocurrencia de avalanchas. Las áreas con vegetación densa tienden a ser más estables y menos propensas a desencadenar avalanchas, mientras que las zonas sin vegetación pueden ser más propensas a la inestabilidad y a la ocurrencia de avalanchas.

Además, el mapa también nos muestra la presencia de cuerpos de agua, como ríos o lagos, los cuales pueden afectar la distribución de la cobertura del terreno y tener un impacto en la probabilidad de avalanchas. Por ejemplo, la presencia de cuerpos de agua puede influir en la acumulación de nieve y en la formación de condiciones propicias para la ocurrencia de avalanchas.

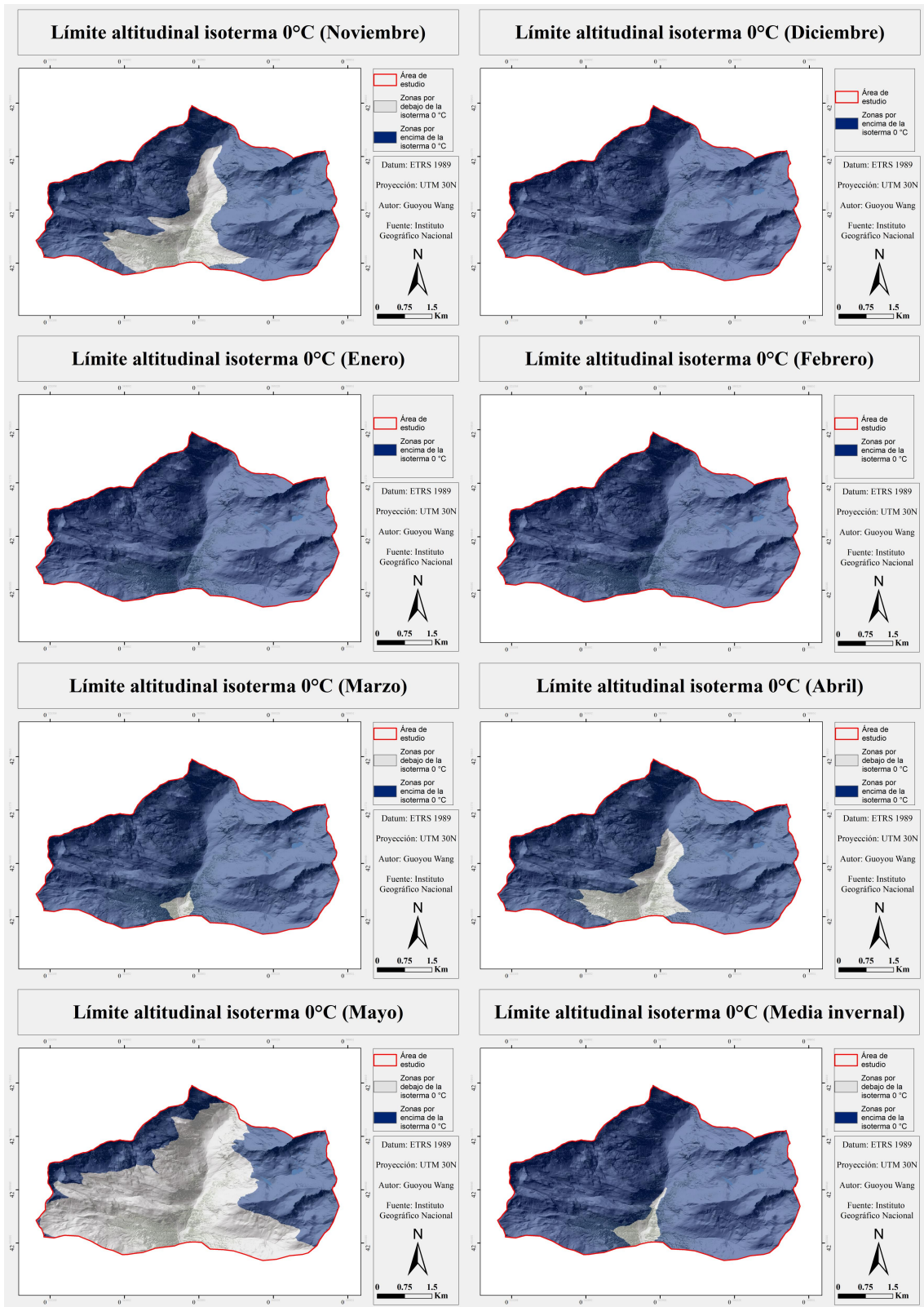
En la isoterma de 0 grados, la mayor parte de la zona se sitúa por encima de la isoterma de cero grados durante los meses de invierno y primavera, de noviembre a abril. En particular, la zona de estudio se sitúa por encima de la isoterma de cero grados en diciembre-febrero, lo que significa que toda la precipitación en la zona de estudio durante diciembre-febrero es en forma de nieve, proporcionando un factor favorable para la formación de aludes, y la acumulación de nieve.

Mes	Superficie(%)	Altitud
Noviembre	80,47	2189
Diciembre	100,00	1744
Enero	100,00	1527
Febrero	100,00	1571
Marzo	98,51	1876
Abril	88,17	2103
Mayo	37,96	2557
<b>Media</b>	<b>86,45</b>	<b>1938</b>

*Figura 14. Superficie por encima de la isoterma de 0 grados. Fuente: Elaboración propia.*

A continuación, presentamos la Figura 15, el "Gráfico de los meses 1, 2, 3, 4, 5, 11, 12 y límites de elevación de la isoterma de 0 grados del promedio de invierno". Este gráfico muestra la distribución de la elevación de la isoterma de 0 grados en diferentes meses y el límite de elevación de la isoterma de 0 grados para la media de invierno.

El proceso de creación de este gráfico implica el uso de datos meteorológicos relevantes e información sobre la elevación. A partir de estos datos, podemos determinar el límite de altitud de la isoterma de 0 grados para cada mes y para la media invernal. Este límite de altura indica la zona por encima de esta altitud concreta en la que la temperatura suele ser inferior a 0 grados, lo que indica que la zona está precipitada principalmente por nieve y hielo.



**Figura 15.** Límite altitudinal isoterma de 0 grados del mes 11,12,1,2,3,4,5 y Media inveral.

**Fuente:** Elaboración propia.

Comprender la distribución en altitud de la isoterma de 0 grados es importante para predecir y analizar la probabilidad y la ocurrencia de aludes. Normalmente, es más probable que se produzcan aludes a mayor altitud, donde las temperaturas son más frías y la capa de nieve es mayor. Por lo tanto, este gráfico puede ayudarnos a determinar qué zonas son más propensas a los aludes y cómo varía la probabilidad de que se produzcan en función de la altitud en diferentes meses y medias invernales.

La figura 15 muestra la distribución en altitud de la isoterma de 0 grados para cada mes. Observando los cambios de color en los gráficos podemos entender cómo cambian con el tiempo la cubierta de nieve y hielo y el riesgo de aludes. Estos gráficos se han creado utilizando datos meteorológicos e información sobre la elevación y constituyen una referencia importante para predecir y analizar el riesgo de aludes. La distribución de la isoterma de cero grados para cada mes se muestra en estos cartogramas, donde las zonas azul oscuro están por encima de la isoterma de 0 grados y las zonas grises se sitúan por debajo de la isoterma de 0 grados, que se puede ver extendiéndose hacia el exterior del río a medida que el tiempo se calienta.

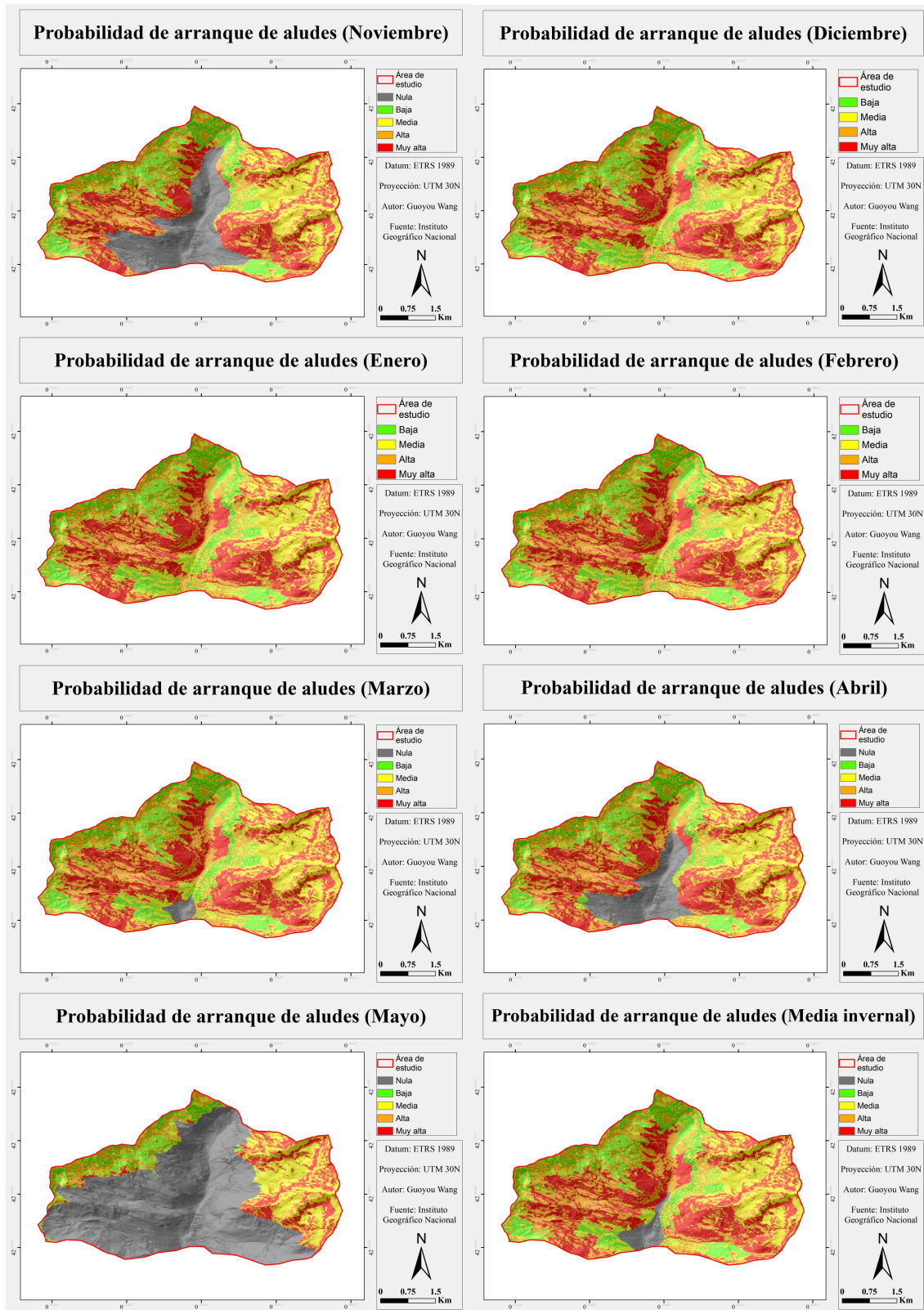
En el análisis que sigue, nos centraremos en los datos de La Figura 16, que muestra la probabilidad de que se produzca un alud en cada mes. Estos datos se basan en nuestra propia investigación y análisis y son importantes para evaluar el riesgo de aludes y tomar las precauciones adecuadas. Observando la figura 16, podemos ver cómo la probabilidad de que se produzca un alud varía de un mes a otro. Comprender los patrones cambiantes de la probabilidad de aludes es esencial para desarrollar estrategias eficaces de gestión del riesgo. Basándonos en los datos de la Figura 16, podemos identificar los meses en los que el riesgo potencial de aludes es mayor, de modo que podamos tomar las precauciones adecuadas para garantizar la seguridad de las personas.

El proceso de análisis de estos datos implica tener en cuenta varios factores, como el terreno, las condiciones climáticas, la estabilidad de la capa de nieve, etc. Combinando la información de estos factores, hemos podido evaluar la probabilidad de que se produzcan aludes en distintos meses y elaborar los gráficos de la figura 16. Como se describe en la metodología, la cartografía de aludes se basa en los tres factores anteriores, que se ponderan mediante la función raster calculator para obtener la cartografía final de probabilidad de aludes.

En la Figura 16 se utilizan cinco colores para expresar la probabilidad de aludes, siendo el gris las zonas en las que los aludes son casi inexistentes, el verde indica una probabilidad baja, el amarillo una probabilidad media, el naranja una probabilidad alta y el rojo una probabilidad muy alta.

Según las Figuras del límite altitudinal isoterma de 0 grados y la probabilidad de arranque de aludes, podemos observar que las laderas de las zonas bajas de la cuenca fluvial son las zonas más propensas a los aludes en todos los meses, con vegetación escasa, principalmente arbustos bajos y hierbas. Esta zona presenta una vegetación escasa con arbustos bajos y hierbas, que son menos resistentes a las avalanchas y deben evitarse para actividades como la acampada. En la parte derecha de la zona de

estudio, la altitud media es muy elevada, con varios picos situados en la zona, y la ausencia de vegetación provoca una buena probabilidad de aludes. También se observó que los meses entre diciembre y marzo son los más frecuentes para las avalanchas.



**Figura 16. Probabilidad de arranque de aludes del mes 11,12,1,2,3,4,5 y Media invernral.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Comparando la Figura 15 y la Figura 16, podemos obtener información más completa sobre el riesgo de aludes.

La Figura 15 muestra la distribución en altura de la isoterma de grado cero para cada mes, lo que muestra la ubicación y la variación de la isoterma de grado cero en diferentes periodos de tiempo. Esta información puede ayudarnos a comprender el impacto de los cambios de temperatura en la formación de aludes. Por ejemplo, en los meses más cálidos, la isoterma de grado cero puede aumentar, haciendo que la nieve se derrita a mayor altura y aumentando el riesgo de aludes. En los meses más fríos, la isoterma de grado cero puede descender, reduciendo el derretimiento de la nieve y, por tanto, la probabilidad de aludes.

La figura 16 muestra la probabilidad de que se produzcan aludes en cada mes. Comparando los datos de los distintos meses, podemos comprender la variación estacional del riesgo de aludes. Algunos meses pueden tener una mayor probabilidad de aludes, mientras que otros meses son relativamente bajos. Combinando la información de la isoterma de grado cero de la Figura 15 con los datos de probabilidad de aludes de la Figura 16, podemos analizar más a fondo los mecanismos por los que se forma el riesgo de aludes.

La comparación de estos dos gráficos puede ayudarnos a identificar tendencias en el riesgo de aludes durante un periodo de tiempo determinado. Por ejemplo, si la isoterma cero grados es alta en un mes determinado y la probabilidad de que se produzca un alud es alta, habrá que extremar la vigilancia y tomar medidas de precaución durante ese periodo de tiempo. Por otro lado, si la isoterma de grado cero es más baja en un mes determinado y la probabilidad de que se produzca una avalancha es menor, entonces ese periodo de tiempo puede ser relativamente seguro.

En resumen, comparando la Figura 15 y la Figura 16, podemos comprender mejor la relación entre el riesgo de aludes y la variabilidad de la temperatura y tener en cuenta la estacionalidad a la hora de desarrollar estrategias de gestión del riesgo de aludes.

## **6 Conclusión**

El estudio realizado en la cuenca del Cinqueta de la Pez proporciona información detallada sobre la probabilidad de aludes en la zona. Aunque este estudio es sólo la fase inicial del análisis de estos fenómenos, es útil para comprender y actuar sobre los aludes en los Pirineos y otras regiones montañosas de España. Se han identificado varios factores que influyen en la probabilidad de aludes, como la pendiente del terreno, la cubierta vegetal y la isoterma de 0 grados. Se ha demostrado que las laderas situadas en las zonas bajas de las cuencas fluviales son las más susceptibles de sufrir aludes, mientras que las zonas con pendientes suaves y cubierta arbórea tienen una menor probabilidad de aludes.

En base a la información aportada anteriormente, se puede concluir que para la zona de estudio del valle de la Cinqueta de la Pez, el periodo de tiempo con una alta probabilidad de aludes es de diciembre a marzo. Esto es debido a que durante este periodo la altitud de la zona de estudio suele situarse por encima de la isoterma de 0 grados, lo que significa que la mayor parte de las precipitaciones se producen en forma de nieve, proporcionando unas condiciones favorables para la formación de aludes y dando lugar a la acumulación de nieve.

Por lo tanto, es necesario un seguimiento más cuidadoso y medidas de precaución frente a las avalanchas para garantizar la seguridad de las personas, especialmente durante el periodo de diciembre a marzo. Esto es especialmente importante para las actividades de montaña y los turistas. También debe hacerse hincapié en la necesidad de vigilancia en otras épocas del año, ya que puede haber otros factores (por ejemplo, precipitaciones, condiciones geológicas, etc.) en las zonas montañosas que pueden aumentar el riesgo de que se produzcan aludes.

El estudio contribuye a mejorar la investigación sobre aludes en el territorio nacional, que va a la zaga del resto de la UE. Además, debido al aumento de la presencia humana en las zonas montañosas como consecuencia de la popularidad de los deportes de montaña y el senderismo, se ha reconocido la necesidad de realizar investigaciones más exhaustivas para mantener la seguridad de las personas mediante la aplicación de medidas de protección adecuadas.

Es importante recordar que los fenómenos de avalancha no sólo afectan a la seguridad humana, sino también al medio ambiente. Estos procesos naturales pueden alterar variables del terreno como la vegetación, lo que requiere una comprensión continua y actualizada de estos fenómenos. En conclusión, este estudio aporta información valiosa para conocer la probabilidad de aludes en la cuenca del Cinqueta de la Pez y sienta las bases para futuros análisis y medidas de mitigación de estos eventos.

## 7 Bibliografía

3.5.4. *Factores de desencadenamiento de los aludes*. (n.d.). Recuperado el 24 de mayo de 2023, de <http://www.desenvolupamentsostenible.org/es/los-riesgos-naturales/3-concepto-y-tipo-de-riesgo/3-5-riesgo-de-aludes/3-5-4-factores-de-desencadenamiento-de-los-aludes>

AEMET. (2015). *Guía de Aludes*. Recuperado el 25 de mayo de 2023, de [https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/publicaciones/Guiadealudes\\_es/La\\_guia\\_de\\_aludes\\_2015\\_es.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Guiadealudes_es/La_guia_de_aludes_2015_es.pdf)

*Avalanchas* | IFRC. (n.d.). Recuperado el 23 de mayo de 2023, de <https://www.ifrc.org/es/nuestro-trabajo/desastres-clima-y-crisis/que-es-desastre/avalanchas>

*Avalanche*. (n.d.). Recuperado el 25 de mayo de 2023, de <https://education.nationalgeographic.org/resource/avalanche/>

*Cartografía de las zonas susceptibles al inicio de aludes en la cuenca del Barranco de Trigoniero (Pirineo central aragonés) mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica. - Trabajos fin de estudios - Deposito Administrativo Universidad de Zaragoza*. (2018). Recuperado el 20 de mayo de 2023, de <https://deposita.unizar.es/record/41499?ln=en>

Chueca, J. and 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, 36 (1): 8-41. Recuperado el 18 de mayo de 2023.

Chueca, J., A. Julián, and A. Montañés (2014) "*A proposal for avalanche susceptibility mapping in The Pyrenees using GIS: the Formigal-Peyreget area (Sheet 145-I; scale 1:25,000)*," Journal of Maps, 10: 203-210. Recuperado el 21 de mayo de 2023.

Cía, J. C. (2010). *Cartografía de zonas probables de salida de aludes en el Alto Gállego (Pirineo Central Aragonés) mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica*. Dialnet. Recuperado el 26 de mayo de 2023, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3315317>

Cuchí, J. A., E. Leo, O. Agurta, S. Fábregas, R. Hurtado, C. Betrán, F. Espejo, and L. Cancar (2008b) "*El alud del 23 de abril de 2008 en el barranco de Las Fajas. Sallent de Gállego (Huesca)*," Lucas Mallada, 13: 91-104. Recuperado el 21 de mayo de 2023.

- Cuchí, J. A., R. Hurtado, S. Fábregas, and C. Polo (2011) "*Avalanchas de la cara norte de la sierra de Guara. Primera aproximación*," Lucas Mallada, 13: 105-118. Recuperado el 23 de mayo de 2023.
- Cuchí, J. A., R. Hurtado, S. Fábregas, F. Espejo, J. Revuelto, and E. Leo (2012) "*La temporada de aludes 2009-2010 en el Alto Aragón*," Lucas Mallada, 14: 55-67. Recuperado el 23 de mayo de 2023.
- Datos climáticos mundiales - Climate-Data.org. (n.d.)*. Recuperado el 21 de mayo de 2023, de <https://es.climate-data.org/>
- De Meteorología, A. E. (n.d.). *Boletín de peligro de aludes - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET*. Gobierno de España. Agencia Estatal De Meteorología - AEMET. Gobierno de España. Recuperado el 22 de mayo de 2023, de [https://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/montana/boletin\\_peligro\\_aludes](https://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/montana/boletin_peligro_aludes)
- De Wikiloc, E. (2022). *Avalanchas: peligros y consejos*. Wikiloc Planet. Recuperado el 25 de mayo de 2023, de <https://es.wikiloc.com/planet/consejos-utiles/avalanchas-nieve-peligros-recomendaciones-seguridad/>
- Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Pinarra (Pirineo central aragonés) - Trabajos fin de estudios - Deposito Administrativo Universidad de Zaragoza. (2019)*. Recuperado el 20 de mayo de 2023, de <https://deposita.unizar.es/record/49627?ln=en>
- Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Urdiceto (Pirineo Aragonés) mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica. - Trabajos fin de estudios - Deposito Administrativo Universidad de Zaragoza. (2021)*. <https://deposita.unizar.es/record/63902?ln=en>
- Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Vallibierna (Pirineo central aragonés), a partir del empleo de Sistemas de Información Geográfica. - Trabajos fin de estudios - Deposito Administrativo Universidad de Zaragoza. (2016)*. Recuperado el 20 de mayo de 2023, de <https://deposita.unizar.es/record/29985?ln=en>
- García-Herrera, R., Calvo-Sánchez, C., & Sánchez-Laulhé, J. M. (2019). *Análisis y caracterización de los episodios de aludes en España en el periodo 2010-2018*. *Tiempo y Clima*, 66(2), 26-35. Recuperado el 24 de mayo de 2023, de [https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/12556/1/TyC\\_2019\\_66%282%29.pdf](https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/12556/1/TyC_2019_66%282%29.pdf)
- Julián Andrés, A. and Chueca, J. (2016) "*Cartografía de zonas probables de aludes en el Valle de Ordesa (Pirineo Aragonés)*," *Geographicalia*, (37), pp. 73-86. doi: 10.26754/ojs\_geoph/geoph.1999371401. Recuperado el 18 de mayo de 2023.

Julián, A. and J. Chueca (1999) "*Cartografía de zonas probables de aludes en el valle de Ordesa (Pirineo aragonés)*," *Geographica*, 37: 73-86. Recuperado el 19 de mayo de 2023.

Julián, A. J. and J. Chueca (2012) "*Mapping of avalanche start zones susceptibility: Arazas basin, Ordesa and Monte Perdido National Park (Spanish Pyrenees)*," *Journal of Maps*, 8 (1): 14-21. Recuperado el 19 de mayo de 2023.

Julián, A., J. L. Peña, J. Chueca, J. Zabalza, A. Lapeña, and I. López (2000) "*Cartografía de zonas probables de aludes en el Pirineo aragonés: metodología y resultados*," *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 30: 119-134. Recuperado el 19 de mayo de 2023.

Ramo, L. (2018, octubre 12). *Análisis geomorfológico del Circo de Barrosa (Pirineos)*. Recuperado el 26 de mayo de 2023, de <http://retosyrutas.blogspot.com/2013/09/ascension-al-pico-cauarere-2901-m.html>

Villanueva, M. J. (2023, enero 30). *La temporada de esquí se reactiva con un 90% de ocupación en los hoteles a pie de pistas*. heraldo.es. Recuperado el 26 de mayo de 2023, de <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/huesca/2023/01/30/la-temporada-de-esqui-se-reactiva-con-un-90-de-ocupacion-en-los-hoteles-a-pie-de-pistas-1627739.html>

*Análisis cartográfico mediante Sistemas de Información Geográfica de la probabilidad de arranque de aludes en el Circo de Barrosa (Pirineo aragonés)*. - Trabajos fin de estudios - Deposito Administrativo Universidad de Zaragoza. (2020). Recuperado el 20 de mayo de 2023, de <https://deposita.unizar.es/record/54249?ln=en>