

Trabajo Fin de Grado



Universidad
Zaragoza

Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Urdiceto (Pirineo Aragonés) mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica

Autor

Javier González Moreno

Director

Javier Chueca Cía

Grado en Geografía y Ordenación del Territorio
Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio

Curso 2020/21

ÍNDICE

1. Introducción
2. Objetivos
3. Área de estudio
 - 3.1 *Localización del área de estudio*
 - 3.2 Características generales
 - 3.2.1 *Litología y geomorfología*
 - 3.2.2 *Climatología e hidrología*
 - 3.2.3 *Vegetación*
 - 3.2.4 *Presencia antrópica*
4. Metodología
 - 4.1 *Marco teórico*
 - 4.2 *Criterios escogidos*
 - 4.3 *Fuentes de información utilizadas*
 - 4.4 *Elaboración de las cartografías*
5. Resultados y discusión
6. Conclusiones
7. Bibliografía

Resumen

El presente estudio realiza un análisis cartográfico de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Urdiceto (Pirineo aragonés) a partir del empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los criterios condicionantes de este fenómeno que se han tenido en cuenta 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 aparece representada la probabilidad al arranque de aludes (clasificada en las categorías nula, baja, media y alta) en los diferentes sectores del valle de Urdiceto.

Abstract

This study study carries out a cartographic analysis of the probability of snow avalanches start in the Urdiceto valley (Aragonese Pyrenees) by using Geographic Information Systems (GIS). The determining criteria for this phenomenon that have been taken into account are: the value of the slopes, the vegetation cover of the land surface and the isotherms of 0°C for each of the months analyzed. The result shows several cartographic products (on a monthly and average winter time scale) in which the probability of avalanches unleashing is represented (classified in the categories null, low, medium and high) for the different sectors of the Urdiceto valley.

Palabras clave: probabilidad de arranque de aludes, Sistemas de Información Geográfica, cartografía, valle de Urdiceto, Pirineo aragonés.

Key words: *probability of snow avalanches start, Geographic Information Systems, cartography, Urdiceto 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 Urdiceto, muy cerca de Bielsa y perteneciente a la comarca del Sobrarbe, 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 0°).

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 Urdiceto durante los meses más propensos al desarrollo de este fenómeno (noviembre a mayo). Cabe mencionar que, durante el resto de los meses del año, las posibilidades de que existan grandes desplazamientos del manto nivoso son muy bajas debido a las altas temperaturas y a la poca 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 Isotherma 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 que lugares del valle de Urdiceto.

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 Urdiceto, 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.

3.1 Localización del área de estudio

Nuestra zona de estudio se corresponde con el valle de Urdiceto, ubicado en la cordillera pirenaica, perteneciendo a la CCAA de Aragón, más concretamente situado dentro de la provincia de Huesca en la comarca del Sobrarbe.

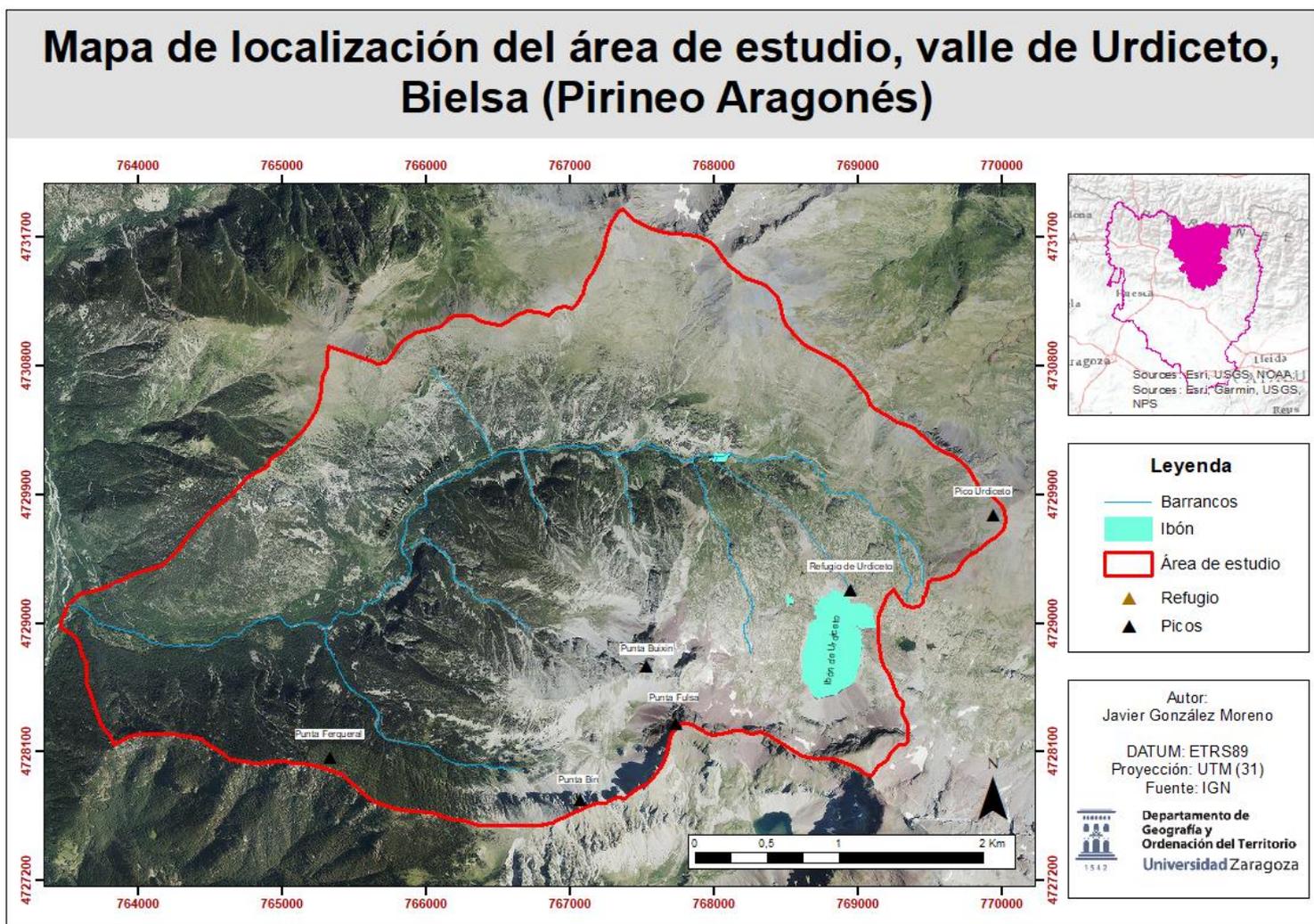


Figura 1: Mapa de localización del valle de Urdiceto. Fuente: IGN. Elaboración propia.

Este valle, de aproximadamente 16 Km² de área, está situado en la divisoria fronteriza entre el Vallée de Rioumajou (Francia) y el valle de Chistau (España), es característica su cima, desde donde se observa uno de los mayores ibones del Pirineo (Ibón de Urdiceto), se trata de un valle poco concurrido por lo que su cima está muy poco masificada.

En la *Figura 1* se observa como el valle de Urdiceto cuenta con un importante ibón situado a 2.400m de altitud, donde además se encuentra el principal refugio para los excursionistas, está rodeado de picos como el de Urdiceto (2.596m) y el de Punta Falsa (2.823m) y por la Sierra Acirón localizada en la zona meridional del mapa.

En el mapa se observan una serie de elementos topográficos tales como los picos Punta Ferqueral (2.114m), Punta Bin (2.547m) además de los ya mencionados anteriormente, lo característico de este valle es que a excepción del pico que recibe el nombre del valle, las demás cimas características están ubicadas en la zona Sur del circo, dentro de la Sierra Acirón.

Se observa además otro pequeño ibón situado muy cerca del principal lago y el embalse de Urdiceto ubicado en la zona central del valle, ligeramente desplazado hacia el este. Cabe destacar además la gran cantidad de barrancos existentes en la zona, como el barranco de Follarata, el barranco de Buixín, el barranco Piedra, o el más largo, el barranco de Urdiceto, siendo el principal de la zona englobando todo el valle.

No existe demasiada actividad antrópica presente en la zona más allá del senderismo, que cuenta con el refugio para que los montañeros puedan pasar la noche.



Figura 2: Refugio de Urdiceto. *Fuente:* wikiloc.com

3.2 Características generales

En este apartado se van a comentar y detallar los principales aspectos físicos con los que cuenta el valle de Urdiceto, para ello se han dividido en varios apartados siendo estos; litología y geomorfología, climatología e hidrología, vegetación y presencia antrópica.

- 3.2.1 Litología y geomorfología

Como ya hemos comentado anteriormente, el valle de Urdiceto está localizado en la cordillera pirenaica, y más concretamente en la zona del pirineo Axial, por lo que la litología presente en este lugar está compuesta por materiales de origen paleozoico, siendo estos restos de la antigua orogenia hercínica.

La zona de estudio está caracterizada por la presencia de rocas graníticas en prácticamente toda el área de estudio, y, adicionalmente, pizarras y cuarcitas. 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 crioclástica.

Este tipo de litología está ubicada mayoritariamente en la zona sur – este – norte de la zona de estudio, acompañada de suelo desnudo, aunque también aparece en la zona central del valle acompañada de vegetación.

Por otro lado, cabe destacar a su vez el hecho de encontrar otras litologías del cuaternario ubicadas en los barrancos y laderas presentes en el área de estudio, esto da lugar a que, debido a las diferentes características con las que cuentan cada una de las litologías presentes y, la variedad presente en el valle, se den diferentes tipos de modelados en la zona.

Es por ello por lo que, siguiendo el estudio realizado por A. JULIAN ANDRÉS, J. CHUECA CÍA y J.L. PEÑA MONNÉ: “El relieve del alto Gállego (Pirineo Aragonés)” 2002, destacamos dos tipos de modelados presentes en el valle: modelado glaciar, y modelado periglaciar y nival.

- *Modelado glaciar*

Los glaciares son masas de hielo comprimidas, que han sido formadas como consecuencia de la acumulación y recristalización de nieve y que, al estar mucho tiempo en el mismo lugar se convierte en hielo, y que incluso pueden llegar a fluir por los valles. La forma de nuestra zona de estudio está influenciada por periodos glaciares del Pleistoceno, dando lugar al circo presente en la actualidad, sin embargo, no encontramos la presencia de glaciares como tal en la zona.

No obstante, la morfología glaciar cuenta también con los ibones, estos consisten en lagos pirenaicos de origen glaciar y que sí están presentes en la zona este del área de estudio, el ibón de Urdiceto es uno de los más grandes de la cordillera pirenaica y conforma uno de los restos de la morfología glaciar presente en la zona.



Figura 3: Ibón de Urdiceto. Fuente: Wikiloc.com

Dentro de nuestra área de estudio, también encontramos otras morfologías características del modelado glaciar como los barrancos, destacando el más largo el barranco de Urdiceto ocupando prácticamente todo el valle y formado por pizarras y areniscas.

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*

Como su propio nombre indica, este tipo de modelado sucede antes del glaciar. Surge a consecuencia del proceso denominado gelifracción, donde el hielo que se forma en el interior de las grietas rocosas en las laderas de las montañas provoca que estas aumentan de tamaño y posteriormente dan lugar a la disgregación de la roca, dando lugar a que los fragmentos generados se caigan y se acumulen al borde de las montañas.

Este modelado, propio de las zonas próximas a glaciares aparece en gran cantidad en nuestra área de estudio mostrándose en forma de canchales, los canchales son 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 Urdiceto aparecen con gran frecuencia sobre todo en el sector norte – central – suroeste y constituyen un papel importante en cuanto al estudio se refiere debido a que la nieve puede deslizarse ladera abajo cuando se produce un alud.



Figura 4: ejemplo zona de estudio, Urdiceto Fuente: La Vanguardia.

- 3.2.2 Climatología e hidrología

Debido a la imposibilidad de encontrar una estación climatológica en el valle de Urdiceto, ha sido escogida la referida a la localidad de Bielsa, (situada a 1.215 metros de altitud) ya que es la estación más cercana al valle que cuenta con información anual de calidad.

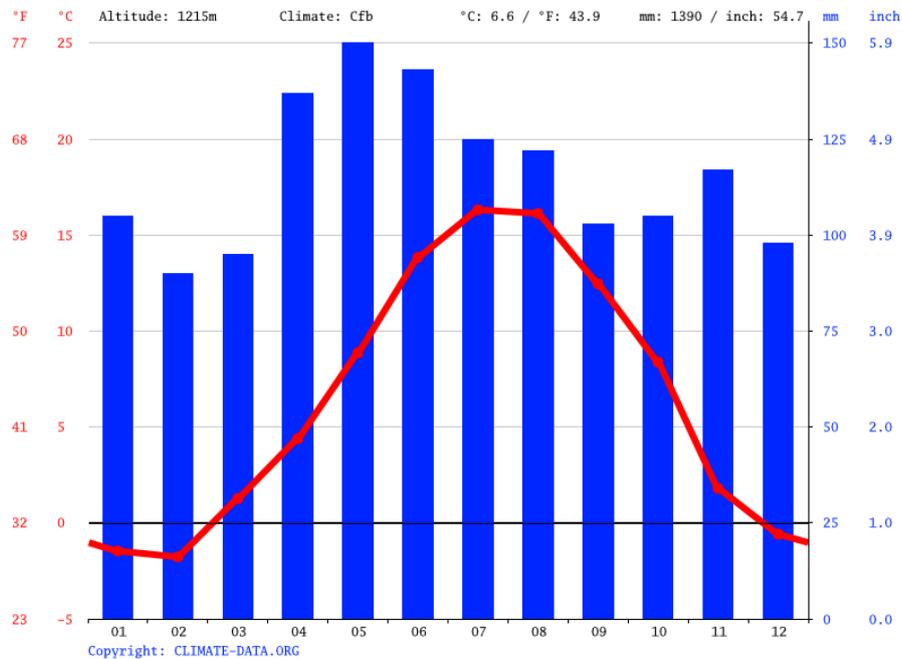


Figura 5: climograma de Bielsa. Fuente: climatedata.org

El clima de la localidad de Bielsa, según la clasificación de Koppen pertenece a un clima Cfb, correspondiéndose con uno templado oceánico, por lo que el clima presente en el área de estudio esta caracterizado por unos inviernos fríos y veranos frescos, con unas precipitaciones abundantes a lo largo del año y donde no hay ningún mes árido.

El mes más frío se corresponde con febrero con una temperatura media de -1,8°C y el más cálido 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 con mayor cantidad es mayo con 150 mm y el que menos precipitaciones cuenta es febrero con 90mm, además de que ningún mes cuenta con sequías, por lo que las precipitaciones están bien repartidas durante todo el año.

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
1138	9,9	1239	21
1238	9,42	1306,7	24,3
1338	8,94	1374,4	27,6
1438	8,46	1442,1	30,9
1538	7,98	1509,8	34,2
1638	7,5	1577,5	37,5
1738	7,02	1645,2	40,8
1838	6,54	1712,9	44,1
1938	6,06	1780,6	47,4
2038	5,58	1848,3	50,7
2138	5,1	1916	54
2238	4,62	1983,7	57,3
2338	4,14	2051,4	60,6
2438	3,66	2119,1	63,9
2538	3,18	2186,8	67,2
2638	2,7	2254,5	70,5
2738	2,22	2322,2	73,8
2838	1,74	2389,9	77,1

Tabla 1: valores teóricos de temperatura media anual, precipitación total anual y días de nieve por cada 100 metros. *Fuente:* Elaboración propia.

En esta tabla se pueden observar los promedios de días de nieve al año por cada 100 metros de altitud, cabe destacar que es a partir de los 2.000 metros de altitud donde el promedio es bastante notorio y que aumenta conforme también lo hace la altitud.

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 alpino:** 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.

Gracias a estos datos se puede estimar los días en los que la nieve permanece sobre la superficie y predecir y alertar sobre los posibles aludes.

La hidrología del valle de Urdiceto se caracteriza por la presencia del barranco de Urdiceto, que cuenta con una longitud de unos 7 kilómetros, a su alrededor, conforme avanza en el valle surgen otros barrancos (Follarata, Piedra, etc.) de menor longitud que le acompañan y destaca sobre todo la poca presencia en la margen izquierda del barranco principal, situándose la mayoría en la margen derecha.

El barranco de Urdiceto, durante su trayecto, forma numerosos meandros y modela el valle dejando a ambos lados laderas mientras supera los desniveles que se encuentra a su paso, y desembocando en el río Barrosa.

También cabe mencionar la presencia del embalse de Urdiceto, ubicado en la zona central del área de estudio, cerca del ibón.

- 3.2.3 Vegetación

La cubierta vegetal presente en el valle de Urdiceto cuenta con numerosas variaciones de especies arbóreas, esto se debe a la diversidad de paisajes y topografía presentes en la zona, lo que da lugar a diferentes relieves que condicionan el clima, las temperaturas o las precipitaciones generando varios tipos de vegetación.

En nuestra área de estudio podemos encontrar una gran heterogeneidad de especies arbóreas, destacando las zonas de bosque en prácticamente la mitad del valle, seguido de matorrales y pastizales en la parte este y norte, para terminar con la presencia de suelo desnudo o nieve en la zona sur del circo coincidiendo con los lugares 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 Aragonés)” basándose en la previa descripción hecha 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:

- *Horizonte alpino superior (más de 2.800m)*: caracterizado por, debido a su elevada altitud, la presencia total de suelo desnudo
- *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 centro – sur del valle de Urdiceto, 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 negra* o *Pinus uncinata*, y matorrales, como el *Vaccinium myrtillus*. Estas especies son muy resistentes a las heladas, al peso del manto nevado y al viento, por lo que aguantan muy bien el invierno.

En nuestra área de estudio estas formaciones aparecen en la zona norte y centro del valle alternándose, los pastizales y matorrales, con bosques menos densos y abiertos del este de la zona.

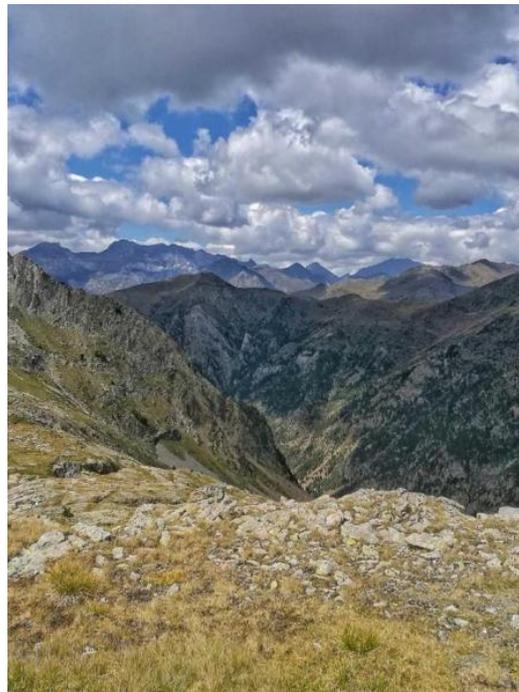
- ***Pino montano***: situado entre los 900 y 1.700 metros de altitud encontramos aquí los bosques de coníferas, destacando especies de *Pinus uncinata* y *Abies alba*, en nuestra área de estudio esta vegetación está presente únicamente en la zona oeste – centro, coincidiendo con poca altitud.

- **3.2.4 Presencia antrópica**

El valle de Urdiceto genera cierto interés para el ser humano por su diversidad paisajística presente, la gran parte de presencia antrópica existente se debe al senderismo, los paseos por el valle son muy comunes entre grupos de personas en fechas estivales y supone una actividad muy gratificante el llegar a la cima de los picos presentes o subir hasta el ibón de Urdiceto, además la presencia del refugio de Urdiceto facilita esta actividad ya que los excursionistas tienen un lugar donde descansar.

Los picos presentes como el Bin, Punta Fuelsa o el de Urdiceto son de especial interés debido a las majestuosas vistas que se pueden observar en sus cimas, pudiendo prácticamente ver la totalidad del circo.

Por otro lado, la presencia de barrancos en el valle da lugar a que se den actividades de barranquismo o rapel organizadas por profesionales para el disfrute de los excursionistas.



Figuras 6 y 7: central hidroeléctrica Urdiceto y valle. Fuente: La Vanguardia

4. Metodología

Este apartado está dedicado a la explicación de cada uno de los procesos metodológicos llevados a cabo a la hora de la elaboración de este estudio.

Encontramos varios subapartados entre los cuales está un marco teórico relacionado con nuestro tema de estudio, los criterios utilizados en el presente estudio junto a la información empleada para ello y finalmente un subapartado donde se explican los pasos seguidos para la elaboración de las diferentes cartografías.

4.1 Marco teórico

“La alta montaña en invierno es un entorno de una gran belleza pero que a su vez está caracterizado por unos peligros, entre los cuales destacan los aludes, estos están presentes en las diferentes cordilleras ibéricas, pero es en la zona del Pirineo axial donde aparecen con más frecuencia teniendo un fuerte impacto social y económico.” (LA GUIA DE ALUDES, Aemet, 2015)

El estudio de los aludes es un tema muy importante a la hora de prevenir posibles riesgos, pues en la actualidad su estudio está enfocado en el cuidado de los diferentes elementos antrópicos construidos por el ser humano (hogares, carreteras, estaciones de esquí, etc.) y en la propia seguridad de él mismo, pues debe ser capaz de realizar cualquier actividad sin sufrir ningún tipo de riesgo por su vida debido al desprendimiento de un manto nivoso, pues “desde 1883 son 80 las personas que han fallecido a causa de un alud en el Pirineo de Huesca.” (Radio Huesca, Ondas Blancas y J.A. Cuchí, 2018)

“El número de accidentes provocados por los aludes en nuestro país durante el último año fue de 29 personas atrapadas en ellos y 3 fallecidos”, (Radio Huesca, Ondas Blancas y J.A. Cuchí, 2018) el hecho de que durante los últimos años el número de muertes aumente o bien no llegue a los niveles deseados donde no haya que contar ningún accidente fatal se debe, en mayor o menor medida, a “un aumento de la población turística en las zonas de alta montaña, junto a la ignorancia y a una falsa sensación de seguridad por parte de los turistas”. (I. GONZÁLEZ, J. CORBELLA: “El año de los aludes”, La Vanguardia; 2018)

Es curioso que el número de casos fallecidos, la tendencia de los aludes y su frecuencia apenas varíe, pues esto enmarca la poca calidad de los estudios realizados a lo largo del siglo pasado, es a partir de 1986 cuando el ICGC se dedica a recoger los accidentes mortales y las causas que han llevado a ello.

Estas estadísticas tienen como objetivo informar de algunos de los datos relevantes en cuanto a la accidentalidad en relación con la predicción y cartografía de los aludes, ya que gracias a un estudio más concreto de los fenómenos en localizaciones más exactas ha llevado a cabo a identificar y detallar con mayor precisión la predicción de los aludes.

Todo ello ha sido posible gracias a la aparición de los SIG entrados los años 2000, gracias a esta herramienta se pueden realizar cartografías de susceptibilidad en los arranques de los aludes y cuáles son los factores que condicionan y dan lugar a que se den estos fenómenos.

Habiendo realizado numerosos estudios e investigaciones sobre la causa y características propias de los aludes generados a lo largo de los años, el ICGC destaca tres tipos de aludes causantes de accidentes mortales.

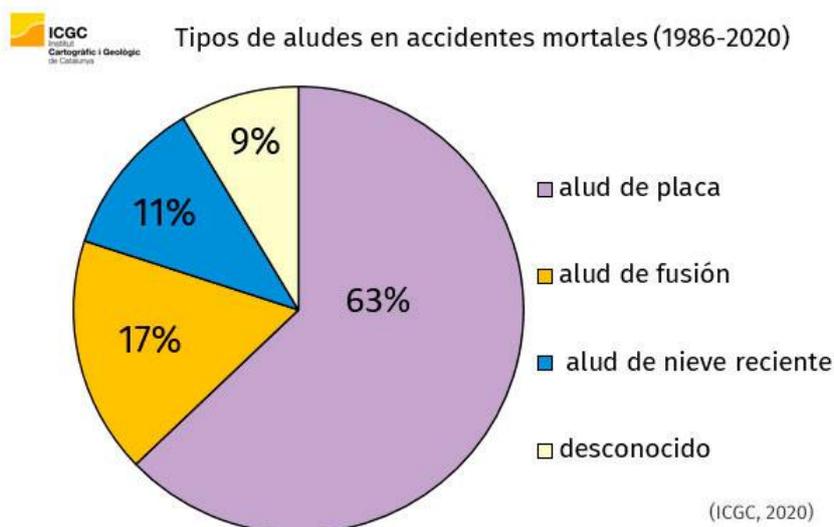


Figura 8: tipos de aludes en accidentes mortales. Fuente: ICGC

Se observa como son los aludes de placa aquellos que causan la gran parte de muertes.

La GUIA 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 0° 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 35° y 17°, producidos debido a una pérdida de cohesión de la capa superficial por sobrecarga o por un aumento de temperatura.



Figuras 9, 10 y 11: alud de placa, fusión y nieve reciente. Fuente: AEMET

Los aludes no pueden evitarse y, es por eso, que en los lugares donde se practican deportes de montaña, como en el Pirineo axial, los servicios meteorológicos correspondientes publican unos boletines de aludes donde se valora el riesgo en una zona determinada de acuerdo con una escala de peligro, elaborada por la UNESCO: Clasificación Morfológica Internacional de las Avalanchas.

4.2 Criterios escogidos

Para realizar las diferentes cartografías presentes en este estudio se han tenido en cuenta una serie de criterios y variables determinadas que son las consideradas como las que definen la probabilidad de arranque de los aludes en el área de estudio.

Existen dos tipos de variables bien diferenciadas que sirven para determinar el nivel de probabilidad de arranque de los aludes, estas dos variables son las conocidas como variables o criterios directos e indirectos.

- **Variables directas:** las variables directas son las que están directamente relacionadas con la topografía del terreno, en ellas encontramos la altitud de la zona de estudio, la pendiente, vegetación o morfología presente.
- **Variables indirectas:** estas variables están directamente asociadas a las condiciones climáticas de la zona de estudio, encontramos el viento, las temperaturas, precipitaciones, etc.

En este presente estudio, únicamente se han tenido en cuenta para su elaboración las variables directas, ya que resulta muy complicado tratar de cartografiar las variables indirectas por su alto grado de variación temporal, mientras que las directas permanecen en el tiempo. Los criterios utilizados para el estudio de las variables directas en este estudio son los mismos empleados en estudios anteriores como CHUECA y JULIÁN, 2010 o CHUECA *et al.*, 2009

- **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”)
- **Limite 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 28° 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 45°, la cantidad de nieve que se llega a acumular no es suficiente como para que se generen avalanchas de cierta significación” (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”)

En este trabajo el valor de las pendientes está clasificado en rangos de <25°, entre 25° y 45° y >45° para su mejor representación y reclasificación.

4.3 Fuentes de información utilizadas

A la hora de realizar las diferentes cartografías presentes a lo largo del estudio, se han utilizado diversas fuentes de información donde han sido descargados los elementos necesarios para la elaboración de los mapas.

En primer lugar, cabe destacar que es el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y su Centro de Descargas la fuente principal de elaboración de las cartografías, pues a partir de esta base han sido descargadas las ortofotos procedentes del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) de Máxima Actualidad referidas a las hojas 0147 y 0179 a escala 1:50.000

Estas ortofotos han sido utilizadas para contextualizar de fondo y de una mejor manera la zona de estudio y a su vez para la elaboración del mapa de localización de nuestra área de trabajo.

También ha sido descargado el Modelo Digital de Terreno (MDT05) referido a las hojas 147 y 179, con el que se han hallado las pendientes del área de estudio y la isoterma 0° para cada mes estudiado.

Por otro lado, también se ha utilizado la capa en formato vectorial de usos del suelo del SIOSE del año 2014, sin embargo, esta capa únicamente ha servido de apoyo a la hora de rediseñar nuestra zona de estudio con el fin de aportar un mayor grado de detalle y precisión al trabajo.

Finalmente, también se ha utilizado una capa de provincias y otra de comarcas de Aragón, además del mapa topográfico nacional para contextualizar la zona de estudio.

En todas las capas utilizadas el sistema de referencia y la proyección utilizada es la UTM Zona 31N y el Datum ETRS 1989.

4.4 Elaboración de las cartografías

A la hora de elaborar el mapa final de susceptibilidad de arranque de aludes en el valle de Urdiceto, previamente se han realizado algunas cartografías presentes en el proyecto. Este apartado está dedicado a la explicación de cada uno de los procesos llevados a cabo para su posterior consecución, es importante destacar que, además de haber utilizado las fuentes de información previamente señaladas en el apartado anterior, la principal herramienta de trabajo ha sido el software ArcGIS 10.8 en su extensión ArcMAP.

En primer lugar, se ha elaborado una cartografía dedicada a **delimitar y localizar** la zona de estudio, para ello las capas utilizadas fueron las ortofotos procedentes del PNOA y el MDT05 de las hojas 0147 y 0179, con estas capas se ha realizado una delimitación de la zona de estudio utilizando una capa de polilíneas y siguiendo los límites del valle teniendo en cuenta sus irregularidades.

Con la delimitación de la zona ya realizada, se han añadido diferentes elementos topográficos con el fin de contextualizar mejor el área de estudio, véase una capa de líneas con los barrancos presentes en la zona, una de polígonos para los ibones, el refugio de Urdiceto y los principales picos del área.

Finalmente, en la parte superior derecha aparece un mapa topográfico en tamaño reducido de la provincia de Huesca en la que aparece la comarca del Sobrarbe resaltada sobre las demás para así tratar de ubicar mejor la zona de estudio.

El siguiente paso ha sido la elaboración del mapa de **pendientes** en nuestra área de estudio, para ello se ha utilizado el MDT05 de las hojas 0147 y 0179 y se han unificado mediante la herramienta *Mosaic to Raster*. Con las hojas ya unificadas, el siguiente paso ha sido utilizar la herramienta *Hillshade* para conseguir un Modelo Digital de Elevaciones y obtener, una visión más detallada y realista del valle utilizando la herramienta *Clip* para que esta capa de fondo coincida con los límites del valle establecidos.

Una vez obtenida esta capa, mediante la herramienta *Slope* y utilizando esta extensión sobre el MDT05 original se han obtenido las pendientes del área de estudio, las cuales, para una mejor representación han sido reclasificadas mediante la herramienta *reclassify* utilizando los datos proporcionados por CHUECA, J. y JULIAN, A. (2010):

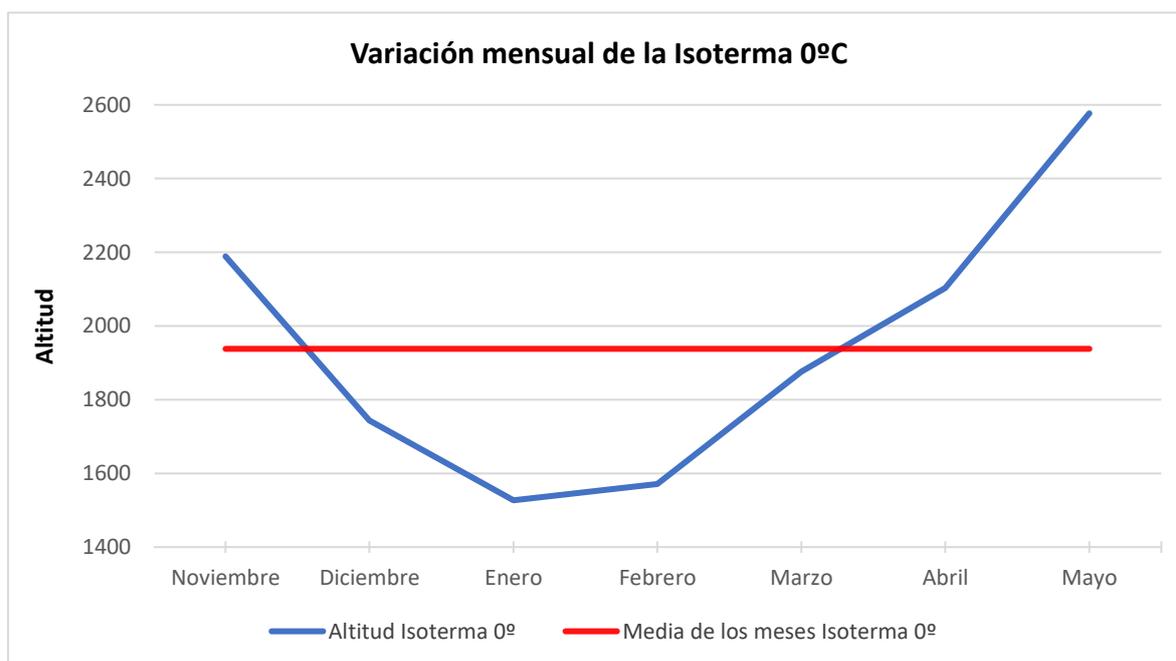
“Cartografía de zonas probables de salida de aludes en el alto Gállego (Pirineo Central Aragonés) mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica”.

Los parámetros son aquellos con una inclinación 25°, entre 25° y 30°, entre 30° y 40°, entre 40° y 45° y superior a 45°. Obtenemos una reclasificación de la zona de estudio en la que aquellos sectores que no están comprendidos entre los 25° y 45° son excluidos del área utilizando el valor “0” mientras aquellos que si están dentro de este rango se les otorga el valor “10”, a excepción de aquellas zonas comprendidas entre los 30° y 40° que se les asigna el valor “15” ya que son las más susceptibles al arranque de aludes.

Finalmente encontramos una clasificación así:

- *Riesgo bajo*: aquellas zonas de valor “0”
- *Riesgo medio*: aquellas zonas de valor “10”
- *Riesgo alto*: aquellas zonas de valor “15”

Para la elaboración de las *Isotermas 0°* en cada mes de estudio y para la media invernral, se ha utilizado el MDT05 de las hojas 0147 y 0179 y los datos de altitud de cada mes obtenidos directamente del estudio realizado por S. MELCHOR (2016) en su proyecto “Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Vallibierna (Pirineo Central Aragonés)”.



Mes	Altitud
Noviembre	2.189
Diciembre	1.744
Enero	1.527
Febrero	1.571
Marzo	1.876
Abril	2.103
Mayo	2.577
Media	1.938

Gráfico 1 y tabla 2: variación mensual de la Isoterma 0°.
Fuente: S. Melchor. (2016): “Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Vallibierna (Pirineo Central Aragonés)”

Elaboración propia.

Finalmente, se realiza la cartografía de la **cubierta vegetal** para la zona de estudio, en primer lugar, se utiliza la capa vectorial de usos del suelo proporcionada por el SIOSE para el año 2014, no obstante, al no contar con el suficiente grado de detalle deseado en el área de estudio, se ha optado por redigitalizar la cubierta vegetal del suelo usando de apoyo la ortofoto del PNOA de Máxima Actualidad y escala 1:50.000 de las hojas 0147 y 0179.

Para ello, se ha utilizado la herramienta *Editor*, y en su sección *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*.

Sin embargo, la capa redigitalizada estaba en formato vectorial por lo que, para poder utilizarla en el análisis multicriterio final era necesario transformarla a formato raster, para ello se ha utilizado la herramienta *Spatial Analyst* y el resultado obtenido queda de esta manera.

- Lago o laguna/Bosque de coníferas: “0”
- Matorral/Bosque abierto: “50”
- Suelo desnudo: “150”
- Pastizal o herbazal: “200”

El valor “0” asignado a los polígonos de lago o laguna/bosque de coníferas es por el hecho de que estas cubiertas son desfavorables al arranque de aludes, por lo que quedan fuera del análisis.

Finalmente, obtenemos las tres cartografías 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 Urdiceto.

Con esto se aplicó un 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 25° y 45° de inclinación y que superen la Isoterma 0° para cada uno de los meses de estudio.

El resultado final son ocho mapas de probabilidad de arranque de aludes en el valle de Urdiceto.

5. Resultados y discusión

Este apartado está dedicado a mostrar las diferentes cartografías, respuestas a los objetivos planteados para la elaboración del proyecto y los resultados obtenidos a lo largo del estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Urdiceto.

En primer lugar, aparecen los diferentes elementos cartográficos realizados previamente con el fin de poder elaborar las cartografías finales en las que se enmarca este estudio. Estos elementos cartográficos podemos dividirlos en tres criterios diferentes analizados en detalle.

El primer criterio para el análisis han sido las *pendientes* existentes y su grado de inclinación presentes en el valle, para su mejor representación se han reclasificado siguiendo los valores explicados en el apartado metodológico.

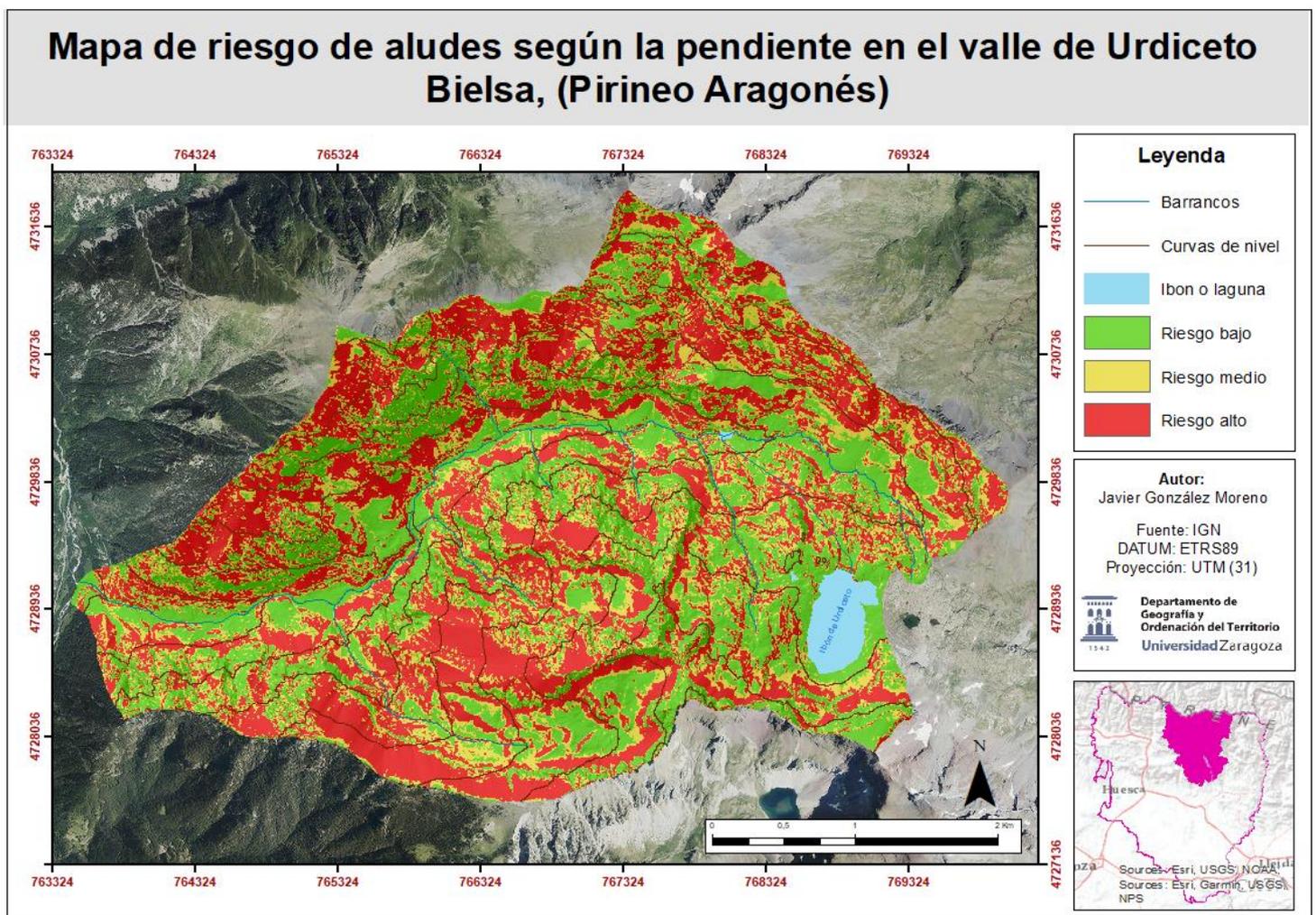


Figura 12: Cartografía de pendientes en el valle de Urdiceto. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 9, encontramos una cartografía referida al riesgo de probabilidad de arranque de aludes en el valle de estudio, observamos a las pendientes de menor riesgo (inferiores a 25° y superiores a 45°), representadas de color verde ubicadas de manera desigual en prácticamente toda el área de estudio, a excepción de las zonas

límites que rodean el valle. Estas pendientes se corresponden con los lugares donde el modelado ha formado relieves llanos y con pendientes suaves.

Aquellas pendientes de riesgo medio, (entre 25° - 30° y entre 40° - 45°) representadas de color amarillo, están ubicadas, aunque en menor proporción, en la zona central, norte y sur del valle.

Finalmente encontramos a las pendientes de mayor riesgo, (entre 30 - 40°) representadas de color rojo ubicadas en las zonas limítrofes que rodean el valle y en la zona central del mismo, coincidiendo con las zonas de mayor altitud. Este riesgo se debe a que en estos grados de inclinación la pendiente es lo suficientemente elevada como para que el manto nivoso se sostenga y que pueda llegar a deslizarse.

El segundo criterio que se ha seguido en el proyecto está referido al análisis de la *cubierta vegetal* presente en el valle de Urdiceto.

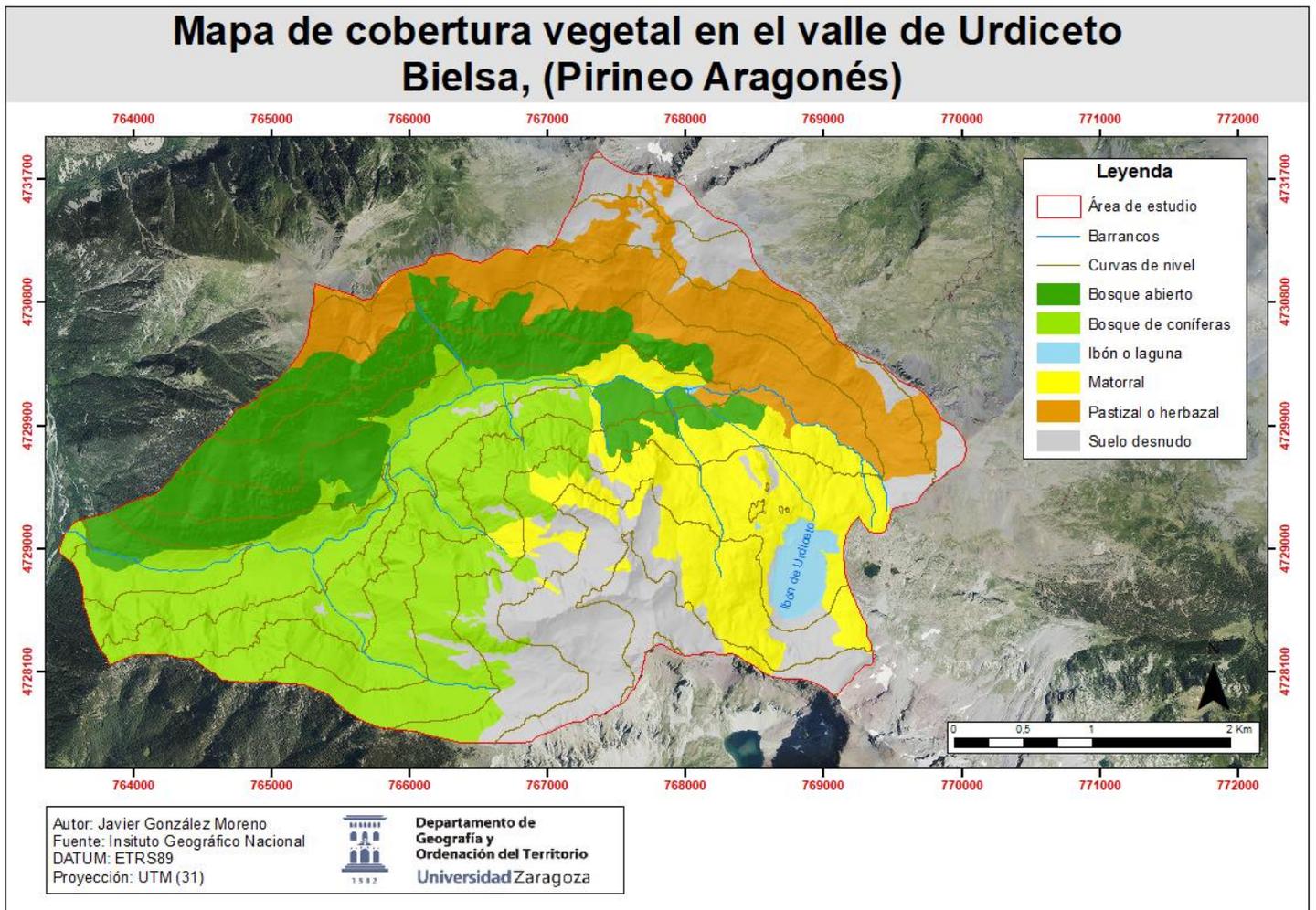


Figura 13: cartografía de la cobertura vegetal presente en el valle de Urdiceto.

Fuente: Elaboración propia.

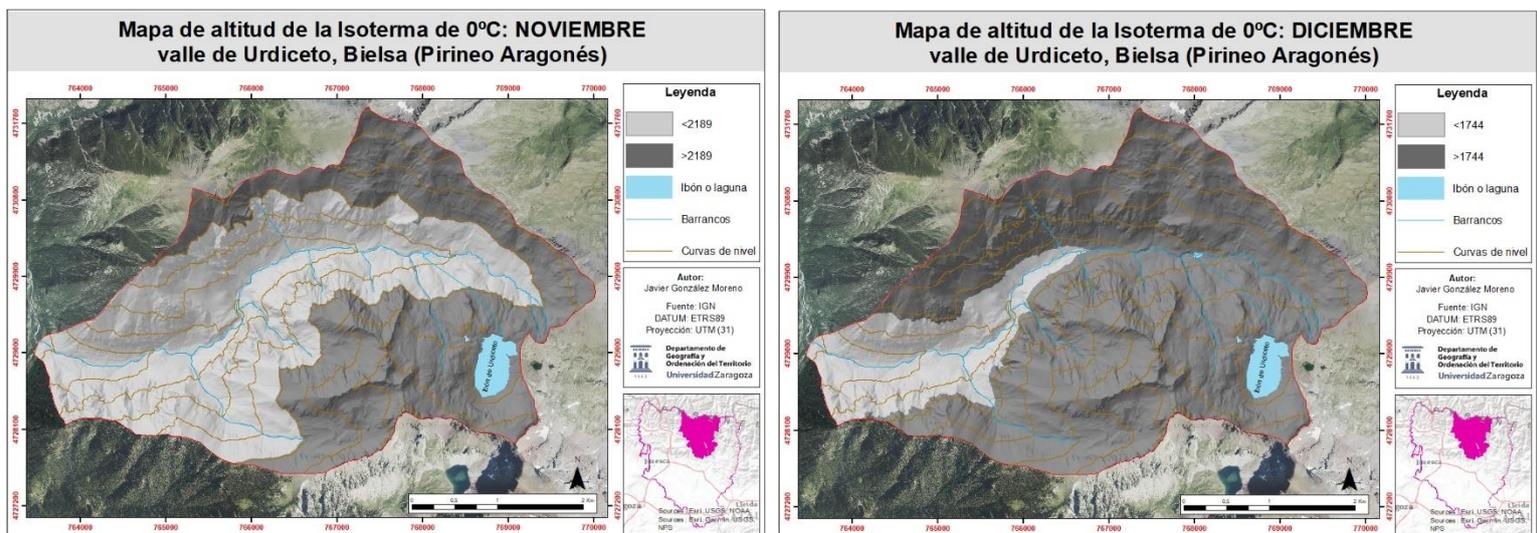
En este mapa se pueden observar los diferentes tipos de vegetación presentes en la zona y su ubicación dentro de ella, destaca la zona central y oeste del valle por la presencia de bosques de coníferas y abiertos, esto es debido a que las condiciones climáticas allí presentes y la no muy elevada altitud favorecen este tipo de vegetación.

Conforme se avanza hacia el centro del valle, aparecen las zonas de matorrales que continúan hasta el este del valle, no obstante, en la zona sur es el suelo desnudo quien aparece con mayor fuerza, de nuevo, esto se debe a las condiciones climáticas de la zona, pues se corresponde con el lugar más alto del valle impidiendo la proliferación de especies arbóreas.

Finalmente encontramos en la zona norte del valle, un pequeño porcentaje donde aparece suelo desnudo, sin embargo, la vegetación predominante es la de pastizales, coincidiendo con un progresivo aumento de la altitud.

Por último, el análisis del límite altitudinal de la *Isoterma 0°C* es el último de los criterios previos al producto final de estudio. En este caso se ha realizado este análisis para cada uno de los meses de referencia (noviembre hasta mayo) y también para la media invernal, obteniendo de esta manera la altitud a partir de la cual en cada mes de estudio las precipitaciones serán en forma de nieve y esta podrá acumularse.

A continuación, en la figura 11, se muestran las cartografías realizadas para cada mes de estudio, donde se puede observar de color gris oscuro aquellas zonas que superan la Isoterma 0°C, mientras que las zonas de color gris claro son aquellas donde la altitud mínima no es lo suficiente para que las precipitaciones sean en forma de nieve.



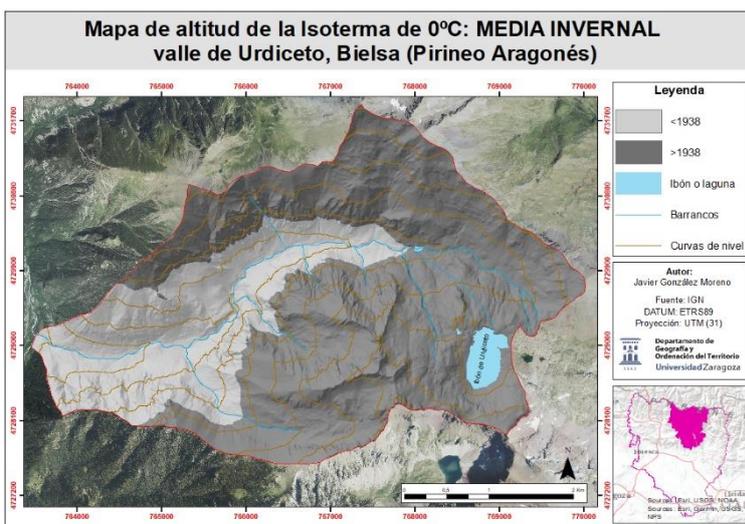
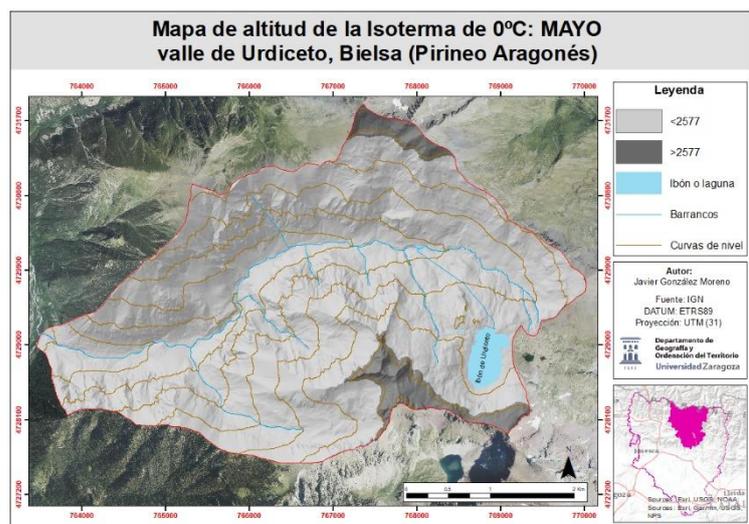
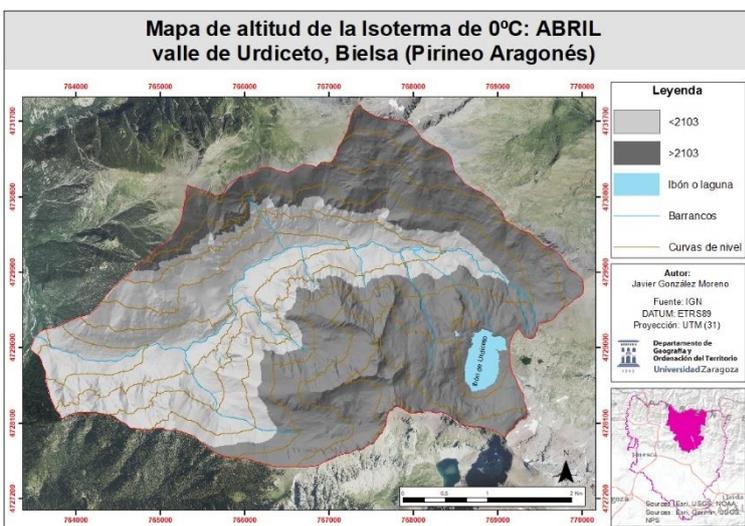
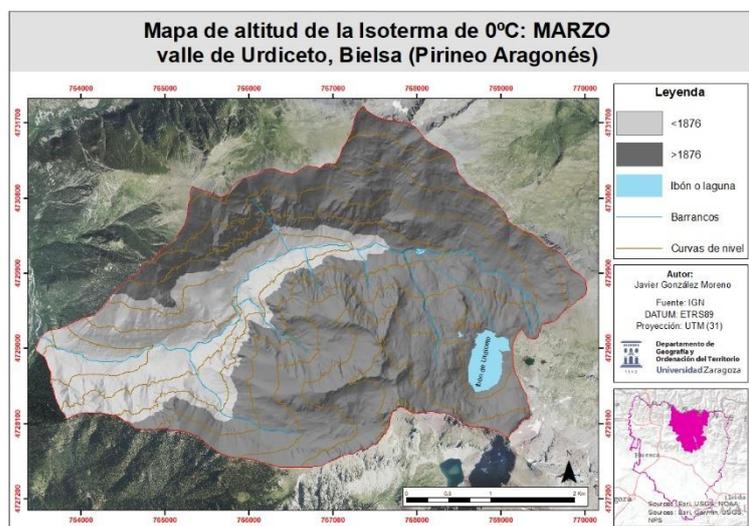
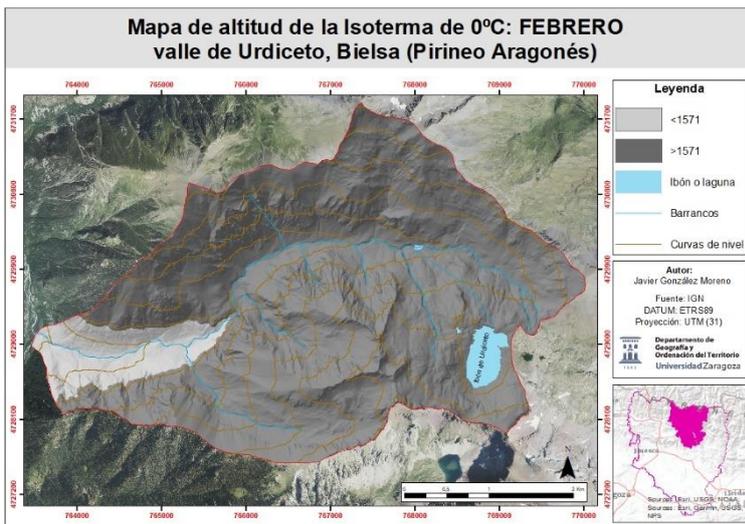
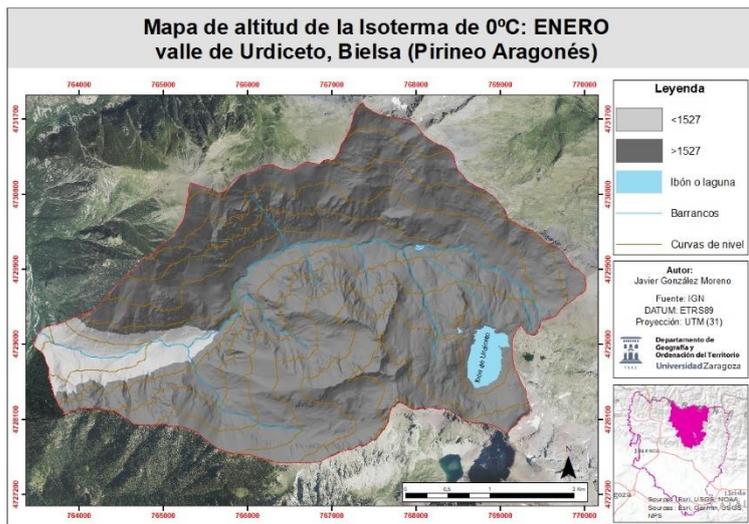
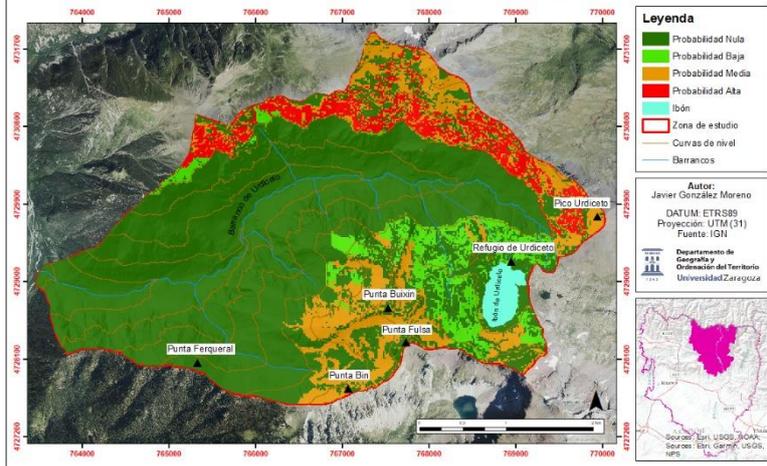


Figura 14: cartografías de la Isoterma 0°C para cada mes de estudio y media invernal.

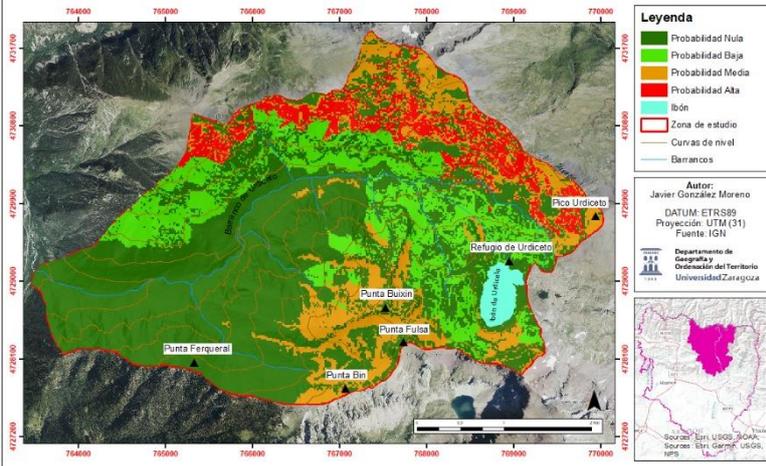
Fuente: Elaboración propia.

Con todas estas cartografías realizadas sobre los principales criterios a tener en cuenta sobre la temática del presente estudio, se pueden realizar las cartografías finales para cada mes y de la media invernal en cuanto a la *probabilidad de arranque de aludes* en el valle de Urdiceto se refiere.

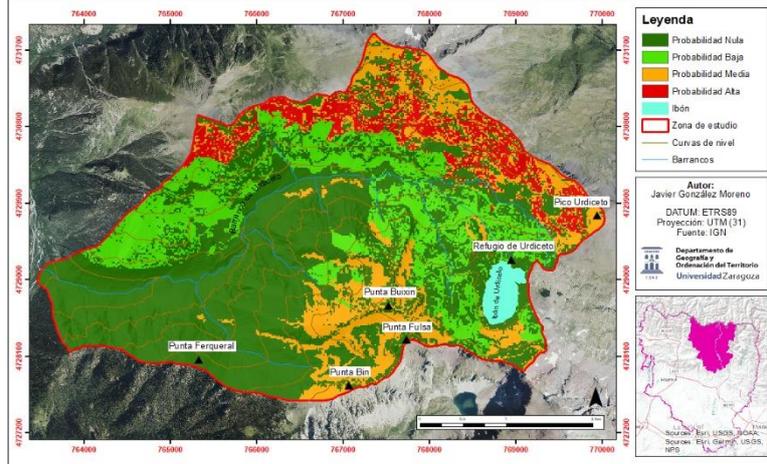
Mapa de probabilidad de arranque de aludes: NOVIEMBRE
(Valle de Urdiceto, Bielsa, Pirineo Aragonés)



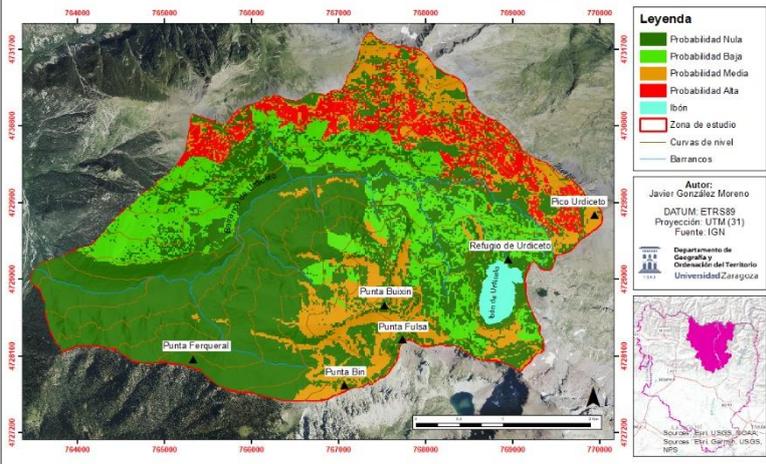
Mapa de probabilidad de arranque de aludes: DICIEMBRE
(Valle de Urdiceto, Bielsa, Pirineo Aragonés)



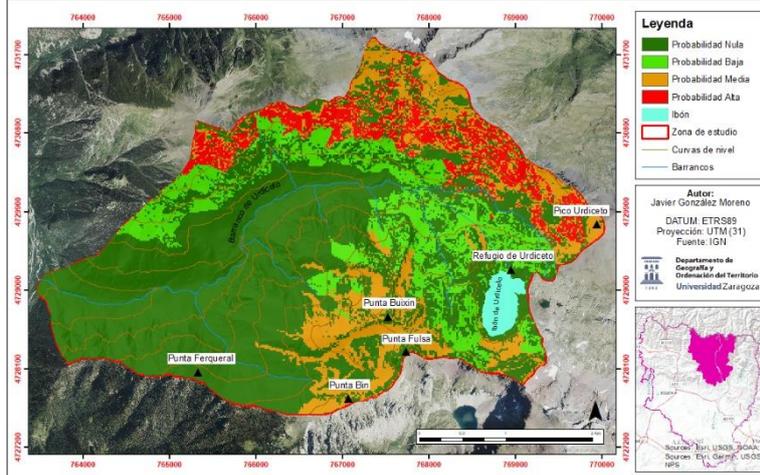
Mapa de probabilidad de arranque de aludes: ENERO
(Valle de Urdiceto, Bielsa, Pirineo Aragonés)



Mapa de probabilidad de arranque de aludes: FEBRERO
(Valle de Urdiceto, Bielsa, Pirineo Aragonés)



Mapa de probabilidad de arranque de aludes: MARZO
(Valle de Urdiceto, Bielsa, Pirineo Aragonés)



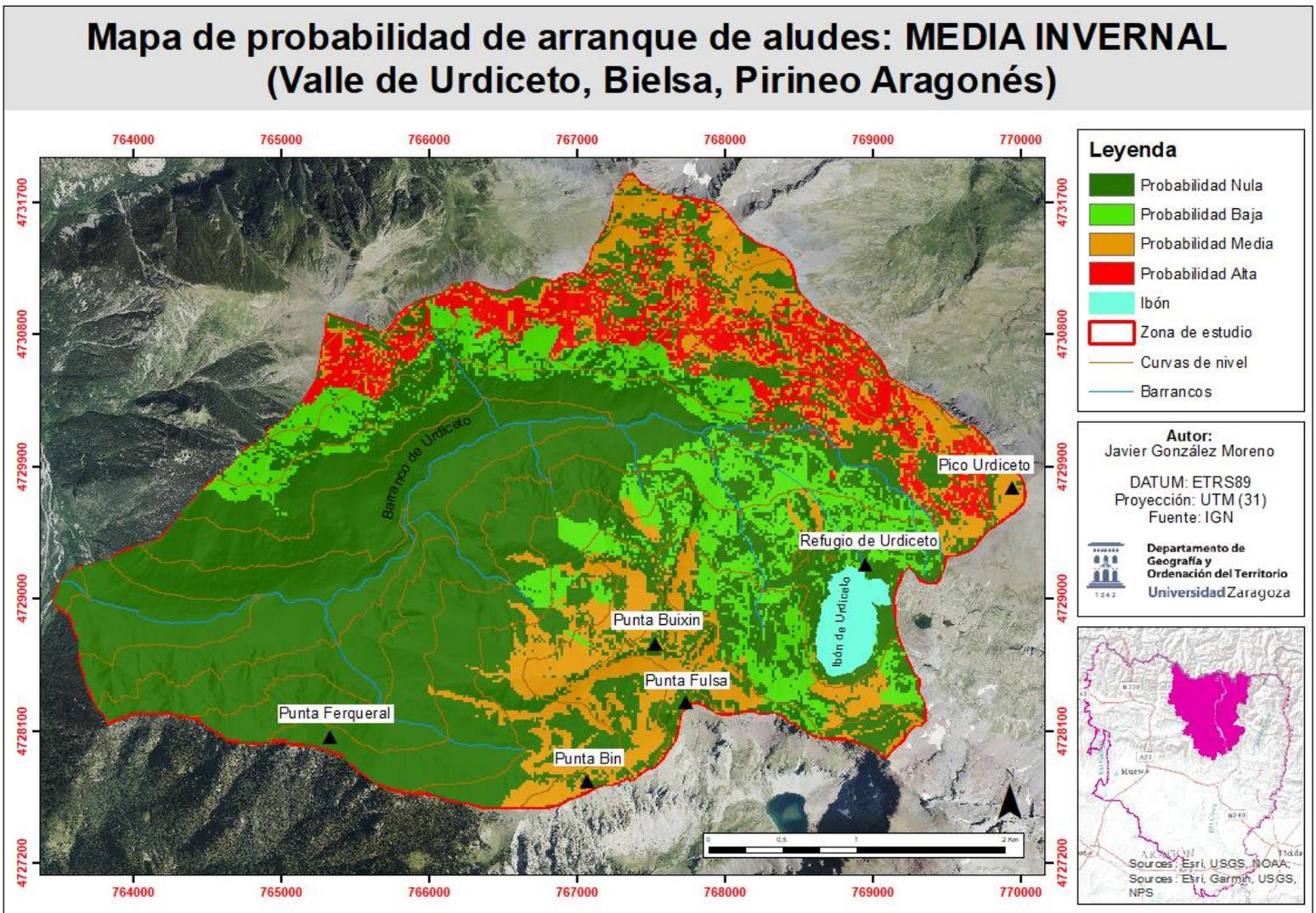
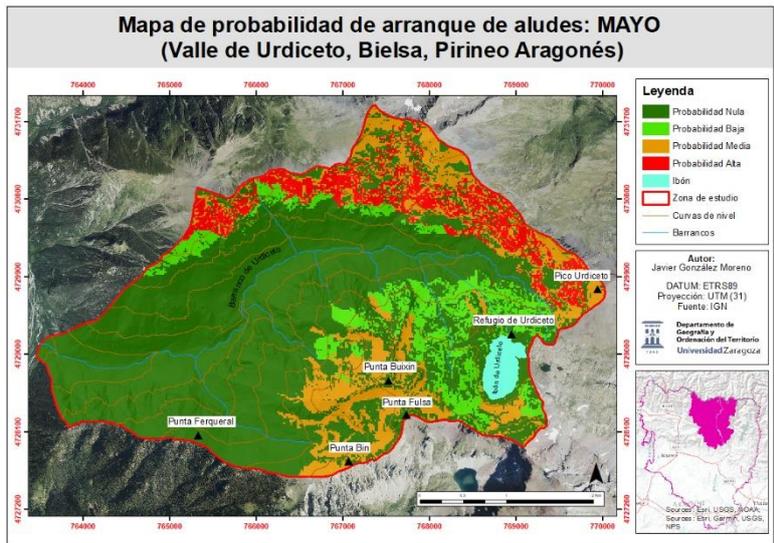
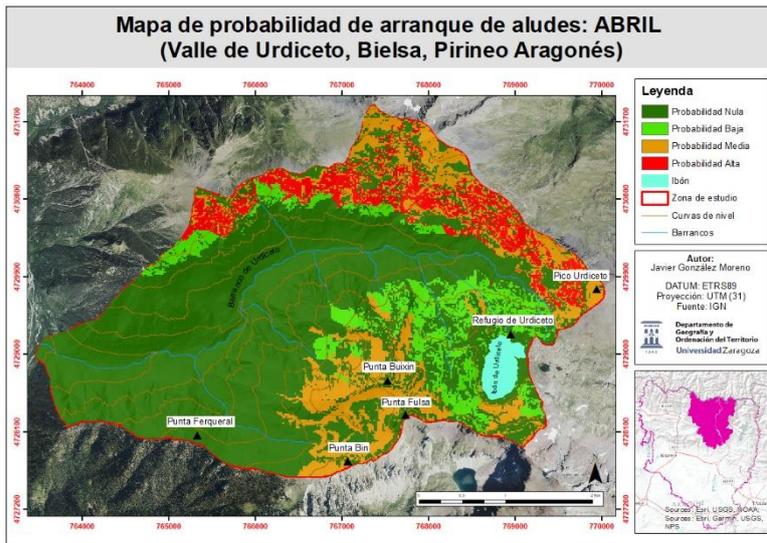


Figura 15: cartografía de probabilidad de arranque de aludes para cada mes de estudio y de la media invernal en el valle de Urdiceto.

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en cada una de las cartografías presentes, un color ha sido otorgado a cada probabilidad presente de arranque de aludes, verde oscuro para las zonas de nula probabilidad, y pasando de un verde claro a un rojo conforme aumenta la probabilidad.

Se observa una clara diferencia entre el mes más frío y el más cálido, donde la diferencia significativa está en la zona central del valle encontrando en el mes de mayo nulas posibilidades de arranque de aludes y en el mes de enero, junto a febrero estas posibilidades aumentan, siendo los meses donde se albergan las mayores posibilidades de arranque de aludes en la zona.

En cuanto a la media invernal se refiere, es la zona central la que menos susceptibilidad a los arranques de aludes sufre, ya que cuenta con nulo riesgo, no obstante conforme se avanza ligeramente hacia el norte y el este la probabilidad aumenta a un riesgo bajo, encontrando en esta zona matorrales y diferentes especies arbóreas del piso bioclimático montano y subalpino, esto junto a pendientes no muy pronunciadas lo que da lugar es a que la nieve no pueda ser interceptada con mucha frecuencia y no se den serios deslizamientos del manto nivoso.

Sin embargo, en la zona sur del valle se observa un riesgo medio de arranque de aludes, esto es debido al aumento de altitud de la zona, al cambio de la cubierta vegetal presente, donde destaca el suelo desnudo y los matorrales, además de encontrar pendientes lo suficientemente pronunciadas como para poder almacenar nieve para después llegar a deslizarse formándose canales de aludes.

Finalmente en la zona norte del valle de Urdiceto aparecen las zonas de mayor riesgo representadas de color rojo y naranja, esto es debido a la enorme presencia de pastizales y suelo desnudo que ocupan la zona, además las pendientes no son muy extremas ni tampoco llanas, favoreciendo la acumulación y posterior deslizamiento, finalmente la altitud aquí presente supera la Isotherma 0°C media lo que provoca que sumado a los tres criterios previos esta zona sea la que mayor riesgo tenga a la posibilidad de arranque de aludes en todo el valle.

6. Conclusiones

A lo largo del trabajo de estudio realizado, se han elaborado diferentes cartografías que finalmente han dado lugar a los mapas finales de las posibilidades de arranques de aludes en el valle de Urdiceto, como su propio nombre indica, este proyecto no es más que un primer acercamiento al verdadero estudio de estos fenómenos naturales, pues únicamente trata de exponer cuales son las ubicaciones donde los aludes podrían sucederse.

El valle de Urdiceto conforma un área muy susceptible al arranque de aludes durante los meses que propician este fenómeno, no obstante, el resto de los circos y valles que rodean a nuestra zona de estudio también cuentan con estas características debido a la homogeneidad con la que cuenta el Pirineo Aragonés.

Es por ello por lo que este estudio puede servir de gran ayuda a la hora de realizar estas mismas cartografías en los diferentes valles que conforman la cordillera pirenaica, no obstante, no supone un análisis avanzado ya que únicamente trata de exponer las zonas susceptibles, por lo que para que una mayor profesionalidad y eficacia a la hora de prevenir posibles aludes sería necesario analizar además las zonas de recorrido del manto nivoso y las zonas de llegada.

Considero a este estudio de especial utilidad e importancia a la hora de comprender los fenómenos de los aludes, tanto para su prevención como para su concienciación, donde a territorio nacional también existen otras cordilleras como la Cordillera Cantábrica o el Sistema Central donde suceden estos fenómenos y que este estudio podría ayudar a reducir el riesgo sobre las vidas humanas, que acompañado a un notable aumento de los turistas en las zonas de montaña practicando deportes de riesgo o senderismo ha aumentado a lo largo de los años, y que, aunque no suponga una cifra de accidentes fatales muy elevada, estos podrían reducirse realizando una mayor cantidad de este tipo de estudios en las zonas de montaña.

No obstante, no hay que olvidar que los aludes suponen un elemento natural que, sucediéndose condiciones extremas que favorezcan su arranque pueden arrasar, incluso en aquellas zonas aparentemente no susceptibles de sufrir alguno, con los elementos antrópicos, vegetación o incluso poner la vida de los humanos en peligro, por lo que a pesar de contar con herramientas que permitan realizar numerosos estudios y predicciones no hay que dejar de subestimar este tipo de fenómeno natural.

Finalmente considero que con el avance de los SIG conforme pasan los años, sería muy conveniente realizar este tipo de estudios con el fin de actualizar las zonas de estudio susceptibles a los arranques de aludes.

7. Bibliografía

- AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA, (2015).: “La Guía de Aludes”. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*.
- BOSCH, X., FURDADA, G. y VILAPLANA, J.M. (1988). “Estudi del mantell nival i programa de predicció del risc d’allaus al Pirineu de Catalunya”. *Geographicalia*.
- 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*
- CHUECA, J. (1993). “Definición, funcionamiento y estructuración de geocomplejos morfodinámicos en la Alta Ribagorza aragonesa”. *Geographicalia*, 30: 69-86.
- CHUECA, J. (1994). “Características y distribución espacial de movimientos en masa rápidos en zonas de montaña (Alta Ribagorza, Pirineo central)”. *Geographicalia*, 31: 31-52.
- CHUECA, J. y JULIÁN, A. (1999). “Cartografía de zonas probables de aludes en el valle de Ordesa (Pirineo aragonés)”. *Geographicalia*, 37: 73-86.
- 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”. *Boletín de la A.G.E*, 30: 119-134.
- CHUECA, J. y JULIÁN, A. (2002). “Rasgos climáticos del Macizo de la Maladeta (Pirineo Central español)”. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 3: 113-130.
- 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*, 5: 9-164.
- CHUECA, J. y JULIÁN, 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”. *Universidad de Zaragoza*, 27 – 41
- CHUECA, J., JULIÁN, A. y MONTAÑES, A. (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*, 10:2, 203-210.
- FERNÁNDEZ-CAÑADAS, J.A., PALOMO, M., PANTOJA, L. (2014). “Delimitación espacial de las zonas probables de salida de aludes en el macizo de Peñalara mediante el uso de SIG”. *Revistas Espacio, Tiempo y Forma. Serie VII. UNED*, Madrid.
- IBARRA, P. Y PÉREZ CABELLO, F. (2002). “La vegetación de los altos valles del Ésera y del Noguera Ribagorzana (Pirineo central)”. *Boletín Glaciológico Aragonés*, 3: 163- 182.
- JULIÁN, A., CHUECA, J. y PEÑA, J.L. (2001). “El relieve del Alto Gállego (Pirineo Aragonés). *Boletín Glaciológico Aragonés*, 1: 45-79
- MELCHOR, S. (2016). “Estudio de la probabilidad de arranque de aludes en el valle de Vallibierna (Pirineo central Aragonés)”. *Universidad de Zaragoza*

Referencias web

- Tierra y Tecnología: <https://www.icog.es/TyT/index.php/2014/11/tipos-de-aludes/>
- Radio Huesca: <https://www.radiohuesca.com/noticia/601150/desde-1883-han-fallecido-80-personas-por-aludes-en-el-pirineo-oscense>
- La Vanguardia: <https://www.lavanguardia.com/ciencia/20180401/442091988369/aludes-pirineos-muertes-esqui-montana.html>
- Ilustre Colegio Oficial de Geólogos: <https://www.icog.es/TyT/>
- Glosario AEMET: https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/125_alud-de-nieve-reciente
- MapCarta: <https://mapcarta.com/es/18560134>
- Bielsa Turismo: <http://www.bielsaturismo.com/ruta/ibon-de-urdiceto-punta-suelza-bielsa/>
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: <https://www.icgc.cat/>
- Visor del IGN: <http://www.ign.es/3d-stereo/>
- Climate-data: <https://es.climate-data.org/europe/espana/aragon/bielsa-205796/>