



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica

Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su
riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y
Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y
Sistemas de Información Geográfica

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR/A: Chajtur Bonanken, Ana Karolina

Tutor/a: Coll Aliaga, Peregrina Eloína

Director/a Experimental: VINUE VISUS, DAVID

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

COMPROMISO

“El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecorillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía”

RESUMEN

No son nuevas las noticias sobre el cambio global entendido como cambios en la composición del planeta a causa o no humana. Especialmente una de sus consecuencias, el tan conocido **cambio climático**. Unos de los fenómenos que se pueden ver afectados son, entre muchos otros, los aludes.

En España están presentes, entre otras zonas, en los Picos de Europa donde se registran con cierta frecuencia ocasionando impactos sociales y económicos¹. Por este motivo, llegar a obtener un mayor entendimiento de la formación de aludes y zonas más afectadas, puede ser útil, a la hora de evaluar el **riesgo de aludes** y dar la posibilidad de actuar acorde a ello.

En este proyecto se ha obtenido un **mapa de las zonas con mayor riesgo según pendientes y rutas donde han ocurrido accidentes pasados, a causa de aludes en los Picos de Europa**. Para ello se han seleccionado cuatro accidentes desde el 2004 hasta el 2021 (21-07-2021 ruta de la vega de Urriellu, 10-02-2018 en la ruta de Cares, 22-06-2015 en Jou de los boches y 3-05-2004 en la pared de Llampá Cimera). Teniendo en cuenta estas localizaciones se han procedido al análisis **geomorfológico** de estas áreas con la información obtenida, en su mayoría, del IGME (Instituto Geológico y Minero de España). Este análisis consistirá en el conocimiento de las diferentes capas litológicas, y para poder comprender el terreno y los cambios que han ido aconteciendo a lo largo de los años. Asimismo, se ha realizado un análisis de **teledetección** para ver si ha habido algún cambio entre esas fechas en cuanto a la distribución de la nieve en esas fechas. Para ello, se han utilizado imágenes de sentinel-2, y Landsat 8 por sus bandas de infrarrojo de onda corta, para así poder aplicar el NDSI (índice de Nieve de Diferencia Normalizada) como fin.

Para poder visualizar este análisis y crear el mapa final, se hará uso del **SIG** (Sistemas de Información Geográfica), en el cual se creará el mapa, y se podrá crear a partir del MDE (Modelo Digital de Elevaciones), un mapa de pendientes y otro de orientación.

AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, Eloina y David, por guiarme y apoyarme en este camino. En especial a mi madre y abuela por aguantarme, así como estar ahí incondicionalmente. Por último, a mis amigos por ayudarme cada vez que me atascaba, especialmente a Adrián S, Adrián P., Jorge Bermell y Lorena Silvestre por su paciencia.

Gracias.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. INTRODUCCIÓN A LOS ALUDES	8
1.2. EL CAMBIO GLOBAL Y SU AFECTACIÓN	10
1.3. ALUDES EN ESPAÑA.....	10
1.4. ALUDES EN LOS PICOS DE EUROPA	12
1.5. USO DE TELEDETECCIÓN Y SIG PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS A CAUSA DEL CAMBIO GLOBAL	14
2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	15
3. OBJETIVOS	16
4. MATERIALES	17
4.1. MAPAS IGME.....	17
4.2. IMÁGENES SATELITALES	17
4.3. CAPAS VECTORIALES.....	19
5. METODOLOGÍA	20
5.1. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO.....	21
5.2. ANÁLISIS DE TELEDETECCIÓN	30
5.3. ANÁLISIS SIG.....	38
6. CASO PRÁCTICO (Analizando el alud de Urriellu del 21 de Julio del 2021).	41
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
8. CARTOGRAFÍA GENERADA.....	47
9. CONCLUSIONES	48
10. PRESUPUESTO	50
11. BIBLIOGRAFÍA.....	52
12. ANEJOS.....	56

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Escala Europea de Peligro de Aludes. Fuente: (Delegaciones Territoriales en Aragón y Cataluña (2015). La guía de aludes., 2015).....	8
Ilustración 2: Características geomorfológicas básicas de los aludes. Fuente: (Delegaciones Territoriales en Aragón y Cataluña (2015). La guía de aludes., 2015)	10
Ilustración 3: Mapa de zonas de riesgo de aludes en España. Fuente: Elaboración propia.	11
Ilustración 4: Número y tipo de aludes observados durante los años 2011, 2012 y 2013. Fuente: Odón Hernández Holgado 'Una aproximación a la nivología en los Picos de Europa'.....	13
Ilustración 5: Tiempo geológico de la era Faneorozoica. Fuente: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.....	21
Ilustración 6: Captura de la Columna estratigráfica de la Región geológica de los Picos de Europa. Fuente: Instituto Geológico y Minero de España. Guía Geológica (2012).....	22
Ilustración 7: Gráfico de talud continental. Fuente: Géologie tout-en-un BCPST.	23
Ilustración 8: Captura de la porción de mapa donde se encuentran los picos de Europa extraído del mapa geológico de Burón. Fuente: Elaboración propia.	24
Ilustración 9: Leyenda de la Ilustración 8. Fuente: Elaboración propia	25
Ilustración 10: Captura de la porción de mapa donde se encuentran los picos de Europa extraído del mapa geológico de Potes. Fuente: Elaboración propia.	25
Ilustración 11: Leyenda de la Ilustración 10. Fuente: Elaboración propia	26
Ilustración 12: Captura del mapa geomorfológico de picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.	27
Ilustración 13: Leyenda de la Ilustración 12. Fuente: Ilustración propia.	27
Ilustración 14: Captura del mapa geomorfológico de picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.	28
Ilustración 15: Leyenda de la Ilustración 14. Fuente: Elaboración propia.	28
Ilustración 16: Captura del mapa geomorfológico de picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.	29
Ilustración 17: Leyenda de la Ilustración 16. Fuente: Elaboración propia.	29
Ilustración 18: Mapa de situación de los Picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.	34
Ilustración 19: Mapa de zonas con nieve en Picos de Europa (Ruta PR-PNPE 21 de la Vega de Urriellu) a fecha de 14 de julio del 2021. Fuente: Elaboración propia.	35
Ilustración 20: Mapa de zonas con nieve en Picos de Europa (Ruta PR-PNPE 3 del Cares) a fecha de 26 de febrero del 2018. Fuente: Elaboración propia.	35
Ilustración 21: Mapa de relieve en Picos de Europa (PR-PNPE 20 Monte Camba (Telve-Sotres)) a fecha de 19 de junio del 2015. Fuente: Elaboración propia.	36
Ilustración 22: Mapa de NDWI en Picos de Europa (PR-PNPE 5 Buferrera - Ordiales) a fecha de 03 de mayo del 2004. Fuente: Elaboración propia.	36
Ilustración 23: Mapa de capas de MDT usadas en el análisis SIG. Fuente: Elaboración propia.	38
Ilustración 24: Mapa de MDT de Picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.	38
Ilustración 25: Mapa de pendientes sin clasificar en Picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.	39
Ilustración 26: Captura de pantalla de QGIS. Expresión usada en la calculadora ráster para su clasificación según el MDT combinado. Fuente: Elaboración propia.	39
Ilustración 27: Mapa final. De riesgos de aludes según clasificación de pendientes en los Picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.....	40

Ilustración 28: Mapa de orientaciones (Hillshade) de Picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.	40
Ilustración 29: Captura de pantalla de Google Earth Engine con la colección de imágenes para Picos de Europa desde el 1 de junio del 2021 hasta el 21 de agosto del 2021. Fuente: Propia. 41	
Ilustración 30: Reconocimiento visual de una de las imágenes, como ejemplo, en Google Earth Engine. Fuente: Propia.	41
Ilustración 31: Mapa de máscara de nieve en la ruta de Urriellu a fecha de 25 de junio del 2021. Fuente: Propia.	42
Ilustración 32: Mapa de máscara de nieve en la ruta de Urriellu a fecha de 5 de julio del 2021. Fuente: Propia.	43
Ilustración 33: Mapa de máscara de nieve en la ruta de Urriellu a fecha de 20 de julio del 2021. Fuente: Propia.	43
Ilustración 34: Mapa de máscara de nieve en la ruta de Urriellu a fecha de 9 de agosto del 2021. Fuente: Propia.	44
Ilustración 35: Mapa de máscara de nieve en la ruta de Urriellu a fecha de 19 de agosto del 2021. Fuente: Propia.	44
Ilustración 36: Tabla de atributos resultado de la intersección de la ruta y las poblaciones. Fuente: Propia.	45
Ilustración 37: Mapa de las poblaciones que pueden estar afectadas por aludes en la ruta de Urriellu. Fuente: Propia.	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información de las imágenes utilizadas en el análisis	17
Tabla 2: Resumen de la metodología aplicada en el proyecto. Fuente: Elaboración propia.....	20
Tabla 3: Fechas de las imágenes utilizadas.....	30
Tabla 4: Clasificación de pendientes. Fuente: Elaboración propia.....	39
Tabla 5: Pasos a seguir si uno se encuentra en un alud. Fuente: Elaboración propia.....	49
Tabla 6: Tabla Presupuesto Personal – Propio	50
Tabla 7: Tabla Presupuesto Personal Diario – Propio	50
Tabla 8: Tabla de Presupuesto Materiales – Propio	50
Tabla 9: Tabla Presupuesto Actividades y Total - Propio	51

1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN A LOS ALUDES

Los **aludes** se definen como “masa de nieve que se mueve con rapidez pendiente abajo” que puede “enterrar, herir o matar a una persona” (Delegaciones Territoriales de Aragón y Cataluña 2015). Estas masas según la AEMET (Agencia Estatal de Meteorología), para que se considere alud ha de cumplir:

- Debe de ser una masa de al menos 100 m³ de nieve.
- Debe recorrer al menos 50 metros

Las **avalanchas pueden ocasionarse por** la interacción entre el terreno, el estado de la nieve y las condiciones meteorológicas al momento. En cuanto al estado de la nieve se refiere a su debilidad de esta, que puede ser inconsistente en la zona (Hägeli y McClung 2002), así como su homogeneidad o grosor (Schweizer, Jürg and Bruce Jamieson, J. and Schneebeli 2003), y, por ende, el peso que pueda llegar a ejercer en el terreno.

Según la ‘Escala Europea de Peligro de Aludes’, se tienen en cuenta para la probabilidad de desencadenamiento de aludes, la pendiente del terreno y las posibles sobrecargas que afecten a este, tal y cómo se muestra en la ilustración 1.

ESCALA EUROPEA DE PELIGRO DE ALUDES			
Nivel de peligro	Icono	Estabilidad del manto nivoso	Probabilidad de desencadenamiento de aludes
5. MUY FUERTE		El manto nivoso es, en general, muy inestable.	Son esperables numerosos aludes grandes, a menudo muy grandes, desencadenados espontáneamente, incluso en laderas solo moderadamente inclinadas.
4. FUERTE		En la mayoría de laderas empinadas* el manto está débilmente estabilizado.	Es probable el desencadenamiento de aludes, incluso mediante sobrecargas débiles**, en muchas laderas empinadas. En algunos casos son esperables numerosos aludes de tamaño mediano, y frecuentemente grande, desencadenados espontáneamente.
3. NOTABLE		En muchas laderas empinadas* el manto nivoso está entre moderada y débilmente estabilizado.	Es posible el desencadenamiento de aludes, incluso por sobrecargas débiles**, especialmente en laderas empinadas propicias*. En algunos casos, son posibles aludes de tamaño mediano y, en casos aislados, de tamaño grande, desencadenados espontáneamente.
2. LIMITADO		En algunas laderas empinadas* el manto nivoso está solo moderadamente estabilizado; en el resto de laderas está en general bien estabilizado.	Es posible el desencadenamiento de aludes, sobre todo por sobrecargas fuertes**, especialmente en laderas empinadas propicias*. Es muy poco probable que se desencadenen espontáneamente aludes grandes.
1. DÉBIL		El manto nivoso está en general bien estabilizado.	En general solo es posible el desencadenamiento de aludes en laderas muy inclinadas o en terreno especialmente desfavorable* y a causa de sobrecargas fuertes**. Espontáneamente solo pueden desencadenarse coladas o aludes pequeños.

* Las áreas propicias a los aludes se describen con mayor detalle en los boletines de peligro de aludes (altitud, orientación, tipo de terreno, etc.).
 - Terreno poco o moderadamente inclinado: laderas con una inclinación menor de 30°.
 - Laderas empinadas: laderas con una inclinación mayor de 30°.
 - Terreno muy inclinado o extremo: laderas de más de 40° de inclinación y terreno especialmente desfavorable debido a su perfil, la proximidad a las crestas o la escasa rugosidad de la superficie del suelo subyacente.

** Sobrecargas:
 - Débil: un único esquiador o surfista, moviéndose con suavidad y sin caerse. Un grupo de personas que respetan la distancia de seguridad (mínimo de 10 m). Un raquetista.
 - Fuerte: dos o más esquiadores, surfistas etc. sin respetar la distancia de seguridad. Máquinas pisanieves u otros vehículos que circulen sobre la nieve, explosivos. Ocasionalmente, un único excursionista o escalador.

Ilustración 1: Escala Europea de Peligro de Aludes. Fuente: (Delegaciones Territoriales en Aragón y Cataluña (2015). La guía de aludes., 2015)

Según esta ilustración, hay cinco tipos de aludes que se ven afectadas a los siguientes factores:

El primero es el **manto nivoso**. Este “depende de factores topográficos y factores meteorológicos durante y después de cada nevada” (Delegaciones Territoriales en Aragón y Cataluña, 2015). puede variar en grosor (la homogeneidad de la nieve, lo densa que sea y por consecuencia, su espesor).

El segundo factor es el **terreno**, siendo su pendiente la que hay que tener más en cuenta. De esta pendiente dependerá la estabilidad del manto nivoso, existiendo tres

categorías según la escala europea según se muestra en la Ilustración 1: terreno poco inclinado, laderas empinadas y terreno muy inclinado. Aun así, también existen otros factores a tener en cuenta como es la cantidad de vegetación. Si es un bosque denso, por ejemplo, serían menores las probabilidades de que se produjera una avalancha ya que el manto nivoso sería muy irregular (Thomas Feistl 2015).

El tercer factor es la interacción entre el manto y el terreno, es decir, las **sobrecargas** de la nieve en el terreno. Esto va directamente relacionado con la densidad de la nieve y su peso sobre el terreno, por ello la pendiente de este es clave. A mayor pendiente y densidad, mayor riesgo de alud podrá generarse.

Y, por último, los **fenómenos meteorológicos**. La lluvia o los cambios de temperatura pueden provocar cambios en la nieve, haciendo que esta se derrita, se congele, o sea lo suficientemente liviana para que, con el viento se formen ciertas zonas con mayor densidad que en otras. Por ejemplo, según la guía de aludes de la AEMET, si hay bajas temperatura hay mayor peligro de que ocurra durante más tiempo.

Según Schweizer, Jürg and Bruce Jamieson, J. and Schneebeli, en general las avalanchas pueden ser producidas de forma:

- Artificial: debido a explosivos o actividad humana lo suficientemente fuerte como para que ocurra.
- Gradualmente: por ejemplo, por precipitaciones.
- Naturalmente: de golpe por cambios de temperatura en la superficie.

Esto es sin olvidar que también puede ir acompañado de la propia naturaleza del terreno y factores ya comentados.

Además, hay tres **tipos de aludes**:

- de nieve reciente: la comúnmente llamada nieve en polvo, es decir, nieve con poca densidad. Suele ocurrir en invierno y/o primavera. Esta, como ya se comentó, puede moverse por medio del aire alcanzando varios kilómetros por hora (300 km/h según AEMET).
- de placa: el viento (a sotavento especialmente), a veces, crea con la nieve, placas. Estas se rompen de forma lineal y neta con gran propagación. Según la AEMET, en laderas entre 25° y 45° hay mayor probabilidad de que se forme un alud independientemente de las características de la Ilustración 1. Estas son más difíciles de reconocer.
- de nieve húmeda o de fusión: estas son las que tienen agua en el manto por lo que ya no hay tanta cohesión en este. Ocurren en primavera, periodos con mayor temperatura en invierno y lluvias. Suelen tener riesgo de aludes si su pendiente es mayor a 25°. Aunque se trata de aludes más lentos en comparación al resto (20-70 Km/h según AEMET)

Por otra parte, se hallan las **características morfológicas básicas de los aludes**, estas serán especialmente útiles a la hora del posterior análisis geomorfológico. Los aludes se conforman de tres partes: salida, trayecto y depósito.

El alud se inicia en la **salida**, que es desde donde cae la nieve a gran velocidad. Puede haber más de una salida con o sin trayectoria en común.

El **trayecto** es la parte entre la salida y donde se deposita la nieve. Debido a su naturaleza, es la zona donde más velocidad habrá, y donde las desaceleraciones no son importantes.

Por último, el **área de parada** o **depósito**, donde ya para la nieve (desaceleración mayor).

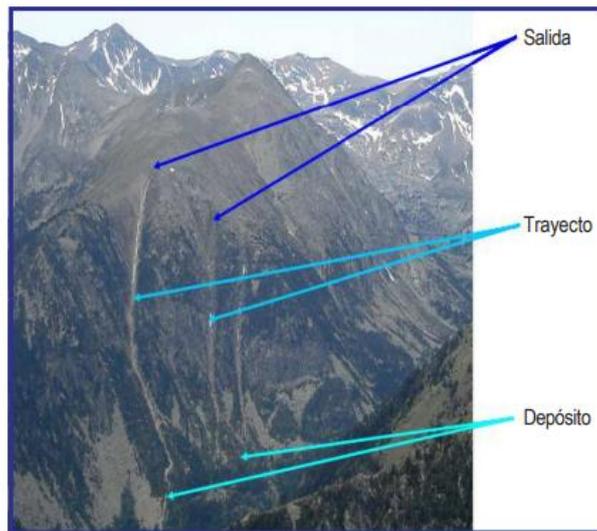


Ilustración 2: Características geomorfológicas básicas de los aludes. Fuente: (Delegaciones Territoriales en Aragón y Cataluña (2015). La guía de aludes., 2015)

1.2. EL CAMBIO GLOBAL Y SU AFECTACIÓN

El **cambio global** se puede definir "como el conjunto de alteraciones que modifican la composición del planeta y que son atribuidas directa o indirectamente a las actividades humanas." (Parque Nacional Picos de Europa, 2015)

Dentro del cambio global se encuentran varios cambios como el cambio climático, cambios geopolíticos, alteraciones en la biodiversidad o cambios del uso del territorio entre otros.

Como se ha descrito en el apartado anterior, las **condiciones meteorológicas** son importantes a la hora del desencadenamiento de avalanchas, por lo que el cambio climático que se ha estado viviendo estos últimos años, cada vez más fuerte, podría llegar a generar aludes. Por ende, afectando a todo lo que se relacione con ese terreno, por ejemplo, serían el suelo o su biodiversidad.

1.3. ALUDES EN ESPAÑA

En España, desde hace unos años se crean **informes de información nivológica**, por parte de la AEMET, de las principales zonas susceptibles a aludes que son: Pirineo navarro y aragonés, Pirineo catalán, Parque Nacional de la Sierra de Guadarrama, Parque Nacional de los Picos de Europa y las Sierras del cordel y Peña Labra.

Estas **campañas de predicción** comienzan en diciembre (con las primeras nevadas) y finalizan a principios de mayo. En España, cada año sobre los primeros meses del año, ocurren temporales de nieve y, por ende, el desencadenamiento potencial de aludes en las zonas comentadas, provocando la búsqueda de personas y carreteras cortadas, entre otros desperfectos.

Desafortunadamente, dado al turismo de invierno, entre el mayor factor, se ven noticias de **accidentes** con víctimas mortales, heridos y pérdidas materiales, tras el

desencadenamiento de aludes. “Entre el año 2000 y 2015 ha habido 45 víctimas mortales (<https://www.proteccioncivil.es/>) sin contar las ocurridas desde el 2015 hasta 2022.

Algunos de los titulares de estos últimos años han sido:

- “El temporal de nieve, lluvia y viento pone en alerta a 40 provincias” — Fuente: *rtve play. El tiempo*. (28/02/2018)
- “Un temporal pone en alerta el norte peninsular y la DGT pide precaución en las carreteras por la nieve” — Fuente: *rtve play. Noticias*. (05/12/2021)
- “Nevadas históricas obligan a cortar carreteras y suspender trenes” — Fuente: *rtve play. El tiempo*. (08/01/2021)
- “El temporal de nieve y lluvia afecta a al menos 83 carreteras” — Fuente: *El País. El tiempo*. (08/12/2021)
- “Riesgo de aludes, nieve y frío ártico el fin de semana por la 'supervaguada' que atraviesa España” — Fuente: *NIUS. Tiempo*. (01/04/2022)
- “Riesgo de aludes, carreteras cortadas, granizo... España ya sufre los estragos 'polares' de la borrasca 'Ciril'.” — Fuente: *20minutos*. (01/04/2022)¹⁴
- “Avalanchas de nieve, la última gran incógnita” — Fuente: *El País*. (27/02/2022)

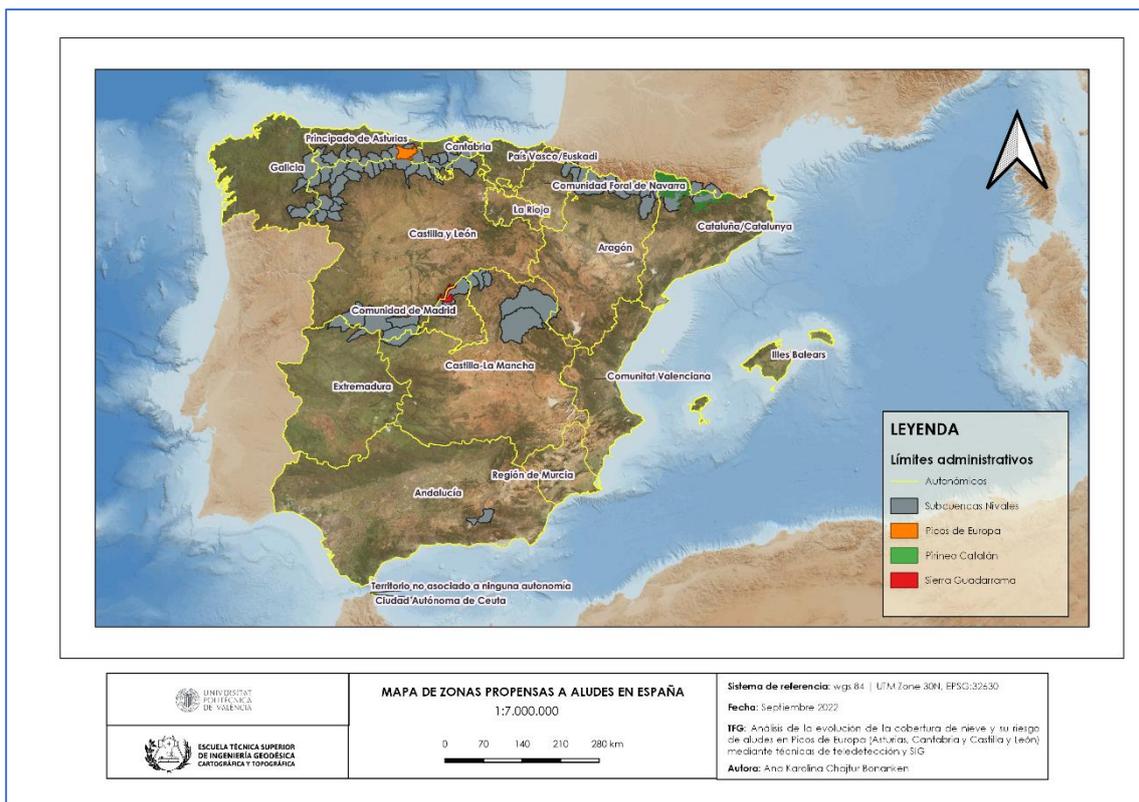


Ilustración 3: Mapa de zonas de riesgo de aludes en España. Fuente: Elaboración propia.

1.4. ALUDES EN LOS PICOS DE EUROPA

Los Picos de Europa constan de tres macizos: el macizo Cornión (Occidental), el macizo de los Urrieles (Central) y el macizo de Ándara (Oriental). Tiene en total 67.127,59 ha (<https://www.miteco.gob.es/es/>, 2016) y se halla entre las provincias de Asturias, León y Cantabria.

Del 2010 hasta el 2016, se documentaron memorias anuales del parque <https://www.miteco.gob.es/es/>, 2016). En el último, se describe la última campaña de predicción de aludes (junio de ese año), así como la elaboración de fichas de evaluación del manto. En esta web se dispone también de noticias de riesgo de aludes tras la previsión meteorológica y de periodos festivos, como es la Semana Santa, por ejemplo.

Dado que predecir una avalancha no es fácil debido a los factores ya mencionados (Apartado 1.1), se ha de tener en cuenta las siguientes preguntas para poder analizar su riesgo: ¿Dónde suelen ocurrir?, ¿Cuándo? y ¿Por qué?

Para este proyecto, centrado en los Picos de Europa, se va a tener en cuenta las cuestiones y se partirá de la base de estas respuestas:

- Zonas de aludes conocidas en los Picos de Europa (Odón Hernández Holgado):
En general, al ser una cordillera, podría tener salidas en todos los picos que la conforman, la menos con inclinaciones de al menos 30 ° (como así lo indica la ilustración 1).
- Frecuencia de aludes:
Aunque no es lo habitual, por diversas circunstancias, humanas o no, ocurren o al menos hay avisos anuales de probables aludes en el área, especialmente si hay tormenta o cambios de temperatura.
- Desarrollo de los estudios de prevención de aludes (Radio Televisión Española 2016):

El trabajo de campo de estos estudios se realiza en zonas de pendientes de al menos 30° y suele durar al menos una hora. Los sondeos consisten en el análisis del manto nivoso, así como de los copos de nieve. Se trata del test de la Pala (noruego o de Faarlund).

Para empezar, se mide la profundidad en una zona propicia, en lo que podría ser la salida del alud. Se considera una zona propicia de estudio aquella que al menos la nieve, debería tener 1,2 o 1,3 metros de espesor (donde suele estar el peligro de ruptura).

Después, se realiza la **prueba de compresión** (Odón Hernández Holgado 2014). Esta prueba consiste en que con ayuda de una pala de forma vertical y a golpes en la nieve sin hacer presión, se consigue hasta que se fracture, lo que sería la caída natural de esa parte del manto.

A continuación, se llevaría a cabo la **prueba de la columna** (Odón Hernández Holgado 2014). Teniendo la pala en posición horizontal, se dan 10 toques suaves, 10 moderados y 10 más fuertes; siendo que, si por ejemplo se dan 19 golpes, no habría mucho riesgo ya que se necesita más fuerza para que se pueda producir fractura. Lo más importante es comprobar si esas fracturas se extienden, eso significaría la inestabilidad del manto y por ello, mayor peligro.

Como último test, el de la **propagación de la sierra (PST)** que tiene como objetivo medir la debilidad de la capa que está bajo la placa, ya que podría propagar la fractura ya iniciada a esta.

Al finalizar todas estas pruebas, se mide el diámetro del grano, lo que permite sacar conclusiones.

- Causas. Por qué ocurren estos aludes (Odón Hernández Holgado 2014):
Pueden ser varias, pero según el informe del 2015, algunas causas serían:
 - a. Cambios de temperatura importantes, especialmente en la zona del cantábrico en alturas iguales o mayores a 2000 metros de altitud.
 - b. Cambios de temperaturas a las que se le añade lluvias que terminan en nevadas.
 - c. Pérdida de plasticidad de la nieve sintetizada, es decir, que va formándose en hielo.
- Tipos de alud en la zona (Odón Hernández Holgado 2014):

Aludes de nieve reciente, nieve húmeda o placa dura; siendo los más frecuentes, los dos primeros. Los datos encontrados al respecto son:

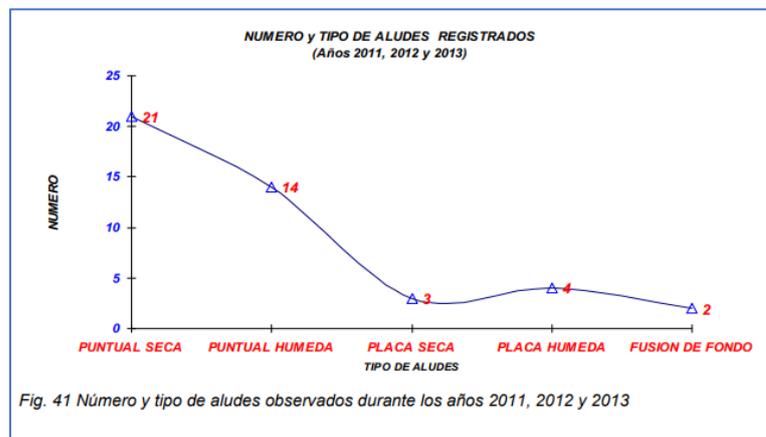


Ilustración 4: Número y tipo de aludes observados durante los años 2011, 2012 y 2013. Fuente: Odón Hernández Holgado 'Una aproximación a la nivología en los Picos de Europa'.

En general, los aludes, al menos en esa época, fueron pequeños o medianos, con excepción en 2012 que se aproximó al pueblo de Bulnes.

1.5. USO DE TELEDETECCIÓN Y SIG PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS A CAUSA DEL CAMBIO GLOBAL

“La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales” (Instituto Geográfico Nacional). Gracias a la adquisición de imágenes de satélites como el Sentinel (y sus series), Landsat o MODIS entre otros, se pueden realizar análisis de zonas según necesidad. Esto es, sin necesidad de usar medios como aviones o drones, que serían más efectivos para otras labores.

Teniendo en cuenta el cambio global, hay muchas aplicaciones en los cuales se puede aportar mediante la teledetección a este objetivo. Aun así según Alexey N Shiklomanov, Bethany A Bradley, Kyla M Dahlin, Andrew M Fox, Christopher M Gough, Forrest M Hoffman, Elisabeth M Middleton, Shawn P Serbin, Luke Smallman, William K Smith, llevar a cabo proyectos de este tipo requieren mucho tiempo y personal, además de que se tiene que ir por imágenes, y por ello, las áreas de estudio (aunque mayores que un vuelo de avión, por ejemplo) se les ha de poner límite.

Los principales estudios que se han conducido han sido enfocados, entre otros, a la biomasa, en el cambio climático y en las características del suelo.

Por otra parte, los SIG (Sistemas de Información Geográfica) se definen como un sistema que crea, administra, analiza todo tipo de datos (ESRI 2022). Esta herramienta permite la creación de planos y mapas con toda la información que se puede llegar a obtener, ya sea de manera libre o privada, y permite también realizar análisis. Estas características interesan en el estudio del cambio global, y más acompañada de la teledetección, pudiendo incluso, hacer operaciones entre bandas de imágenes satelitales.

2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Como se ha descrito en puntos anteriores, el cambio global es uno de los grandes, sino el mayor, problema de estos últimos tiempos. En este caso al tratarse de una zona montañosa, de los principales problemas, serían los causados por la temperatura (temperaturas más frías o calurosas de lo normal) o de las propias condiciones del terreno (tales como incendio y pérdida de vegetación) afectan a fenómenos como son las avalanchas.

Además, al ser un lugar turístico, con sus características mencionadas en el apartado anterior, los accidentes son frecuentes, pero no solo en este parque sino en muchos otros. Ya es habitual, desgraciadamente, escuchar noticias de accidentes mortales o no en zonas de senderismo o esquí, como es la de los Picos de Europa.

Con este proyecto **se pretende** conseguir un mapa de zonas con riesgo de aludes mediante imágenes satelitales de Sentinel-1. Esto permitirá conocer zonas a tener en cuenta, especialmente en las rutas de senderismo. Básicamente lo que se pretende es tener la información necesaria para que junto la información que se vaya emitiendo desde canales oficiales (como la AEMET), se puedan llegar a tomar precauciones.

3. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es la **creación de un mapa de zonas de riesgo de aludes por medio de imágenes satelitales** en fechas donde los aludes ya se han producido o con aviso de estas.

La metodología que se va a llevar para conseguirlo es la siguiente:

a. Análisis geomorfológico

- a. Características de las rocas principales del parque en general y su deformación
 - i. Análisis de los mapas Magna50 de Beleño, Burón y Potes del IGME
 - ii. Análisis del mapa geológico del IGME
 - iii. Análisis del mapa geomorfológico del IGME
- b. Análisis de la ruta Urriellu
- c. Análisis de la ruta de Cares
- d. Análisis de Jou de los Boches, Cabrales
- e. Análisis de la pared Llampa cimera en el macizo occidental.

b. Análisis de teledetección

- a. Elección de imágenes
- b. Cálculo de las zonas con nieve

c. Análisis SIG

- a. Mapa de pendientes
- b. Mapa de orientación (*hillshade*)

4. MATERIALES

4.1. MAPAS IGME

Por este orden de sucesión en los Anexos:

- a. MAGNA – 50
 - a. Beleño
 - b. Burón
 - c. Potes
- b. Mapa geológico
- c. Mapa geomorfológico
- d. Página del folleto geomorfológico de Picos de Europa (explicación del talud)
- e. Columna estratigráfica de los Picos de Europa

4.2. IMÁGENES SATELITALES

Se han utilizado en este proyecto imágenes correspondientes a Sentinel-2, Landsat 8 y MODIS.

Se han aplicado imágenes de Sentinel y Landsat a imágenes a partir del 2015 de entre los casos a analizar, para poder realizar el NDSI y NSWI. Y para la del 2004 MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*).

La utilización de diferentes satélites ha sido en gran parte por la obtención de las imágenes, es decir, por ejemplo, de Sentinel no había imágenes con las características necesarias para el 2015, y no había directamente para el 2004 (ya que aún no se había lanzado). Por ello se ha usado:

Tabla 1: Información de las imágenes utilizadas en el análisis

Lugar y fecha del accidente	Satélite	Características
Ruta de Urriellu (21-07-2021)	Sentinel-2	<ul style="list-style-type: none"> • Banda infrarroja (Banda 11: SWIR) para poder calcular el NDSI • Banda Q60 para eliminar las nubes • Se han descargado y calculado con <i>Google Engine</i> • Imágenes a partir del 2015
Ruta de Cares (10-12-2018)		
Ruta de Monte Camba (22-06-2015)	Landsat 8 L1	<ul style="list-style-type: none"> • Banda infrarroja de onda corta (Banda 6: SWIR1) para poder calcular el NDSI • Se ha descargado con <i>Sentinel Hub EO Browser</i> y calculado en <i>QGIS</i> • Imágenes a partir del 2013
Ruta de Burrefera - Vegarredonda - Ordiales (03-05-2004)	MODIS	<ul style="list-style-type: none"> • Se ha descargado por <i>Sentinel Hub EO Browser</i> • No tiene SWIR por lo que solo se han podido tomar datos del NDWI (índice de Agua de Diferencia Normalizada) • Imágenes a partir del 1999

A continuación, se explicarán los satélites de los cuales se ha obtenido la información:

MODIS, es el más antiguo de los que se ha usado, su objetivo principal es la medición de temperatura del suelo y océano, color del océano, cartografía de la vegetación. Nubosidad y concentraciones de aerosoles. Por estos objetivos, no parece muy útil para el trabajo que se ha llevado a cabo. Se ha decidido usar estas imágenes por la fecha del suceso, y se ha escogido hacer un NDWI ya que no se podía un NDSI, para al menos poder ver la cantidad de agua que podía haberse derretido o estar por derretir a mediados de junio por los Picos de Europa. Como se verá más adelante, no se ha hallado, cerca de la ruta, agua, por lo que solo se puede hacer una primera valoración de la vegetación y la ausencia de agua sea dato.

LANDSAT 8 L1, cuenta con 11 bandas, metadatos y evaluación de la escena (QA). Para poder calcular el NDSI, como se ha mencionado antes, se necesita la Banda 6 que ronda en longitudes de onda de 1,566 a 1,651 micrómetros con una resolución de 30 metros, que para la zona de trabajo se podría considerar aceptable. Básicamente distingue la diferencia entre tierra húmeda y seca de manera que se diferencia la nieve, el hielo y las nubes.

Sentinel-2 A, cuenta con 13 bandas espectrales con los objetivos del monitoreo mediante índices de la biomasa, la superficie terrestre, contaminación en zonas acuáticas (lagos y costas) así como desastres naturales como son las erupciones volcánicas. Al igual que en LANDSAT, se ha usado la banda 11 (SWIR) por el mismo motivo.

4.3. CAPAS VECTORIALES

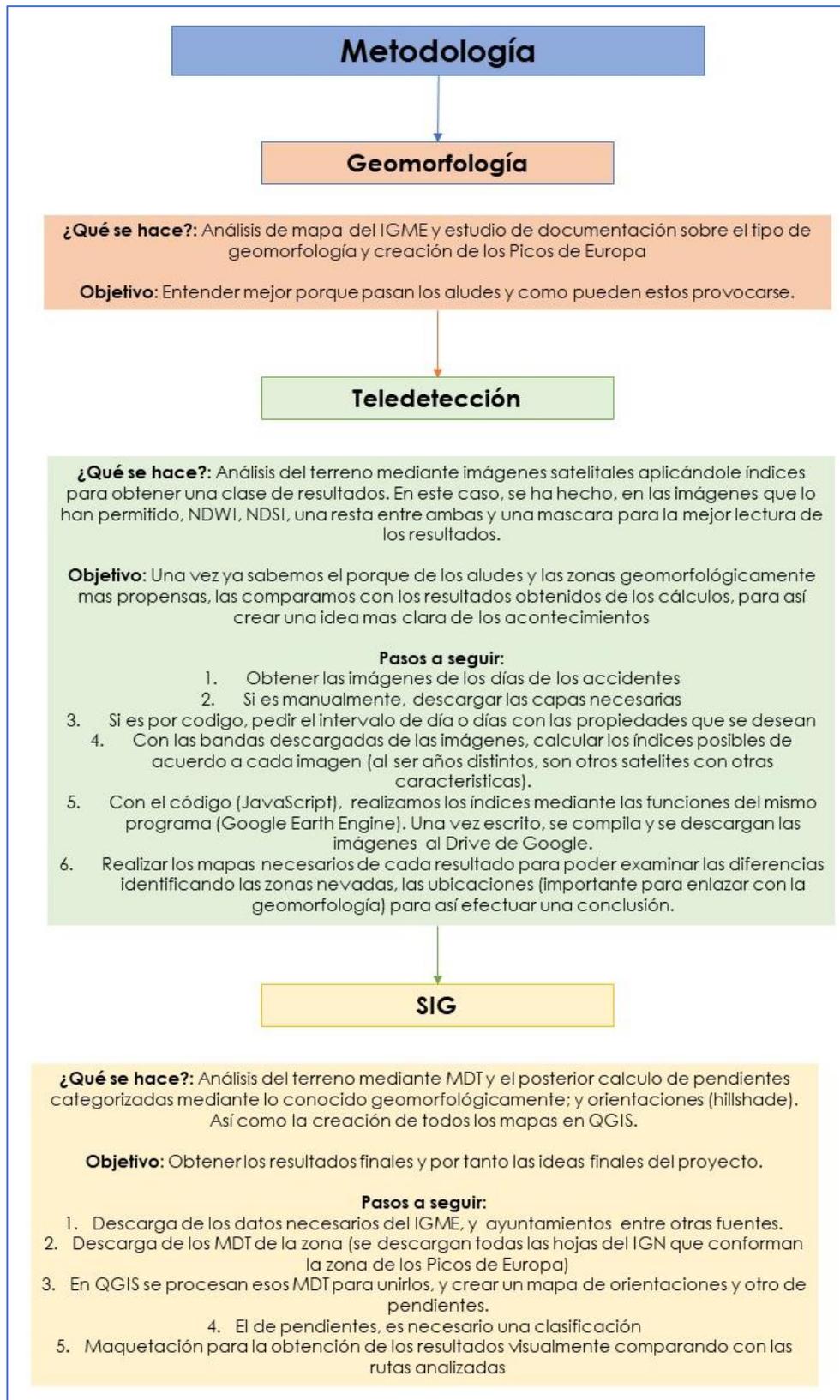
Mapas 2021

Nombre	Procedencia	Formato
Límites		
Límite del área de los Picos de Europa	Página web oficial de los Picos de Europa	.shp
Área de los Picos de Europa	Página web oficial de los Picos de Europa	
Límites autonómicos	Centro de Descargas del IGN	
Subcuencas nivales	Programa ERHIN	
Pirineo catalán	Página web de la Generalitat de Catalunya	
Sierra Guadarrama	Capas de descarga de Parques Nacionales del Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico	
Rutas		
Urriellu	Página web oficial de los Picos de Europa	.kml
Burrefera – Vegarredonda – Ordiales		
Cares		
Monte Camba		
Fondo cartografía		
Ortoimagen	Conexión WMS del PNOA	
Fondo		
OSM Standard	Extensión QGIS QuickMapServices	
Imágenes satelitales		
Máscara 2021	Google Earth Engine	.tif
Máscara 2018	Google Earth Engine	
Máscara 2015	Sentinel Hub EO Browser	
NDWI 2004	Sentinel Hub EO Browser	

5. METODOLOGÍA

Esquema a seguir:

Tabla 2: Resumen de la metodología aplicada en el proyecto. Fuente: Elaboración propia.



5.1. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

5.1.1. Características de las rocas principales del parque y su deformación

Antes de comenzar el análisis y teniendo en cuenta que la geomorfología es la ciencia que se encarga de estudiar el relieve terrestre y los cambios producidos en él, se considera necesario hacer un pequeño resumen y análisis de los Picos de Europa en general.

Se entiende como era **Paleozoica** la primera de las tres eras que comprenden el eón Fanerozoico (Véase la Ilustración 5). Esta era se divide en dos, Paleozoica superior (Devónico, Carbonífero y Pérmico) e inferior (Siluriano, Ordovícico y Cambriano). En esta etapa es la que acaba con la formación de Pangea (el supercontinente).

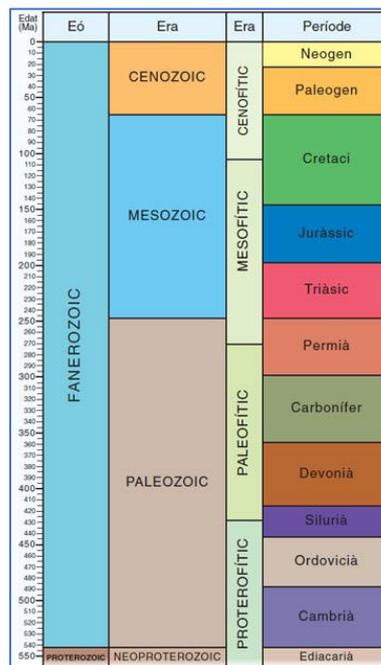


Ilustración 5: Tiempo geológico de la era Fanerozoica. Fuente: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Los Picos de Europa, es un macizo que se encuentra en el centro de la cordillera Cantábrica. Según el IGME, en su mayoría, **las rocas** de esta cordillera se formaron en el Paleozoico (entre hace 500 millones de años hasta hace 250 millones de años). Desde entonces, la zona ha sufrido varios cambios, debido al desplazamiento de placas tectónicas de la corteza terrestre provocando que cambiara de latitud, así como deformación Hercínica y Orogenia Alpina.

La orogenia o deformación **Hercínica** es la formación de una cadena montañosa durante el Paleozoico superior. También se denomina orogenia Varisca en la Península Ibérica y causó la reducción progresiva de la superficie inicial de la cuenca sedimentaria provocando que rocas que antes estaban más alejadas, se acercaran. Mientras que la Orogenia **Alpina** es la formación de cordilleras en el Cenozoico. Por consecuencia de cambios climáticos y fluctuaciones del nivel del mar, fue propicia la acumulación de sedimentos de áreas marinas y continentales.

Debido a estas orogenias, la cordillera Cantábrica se divide en diversas **regiones geológicas**: Región de los Picos de Europa, Región del Pisuerga-Carrión y la Región del Ponga. La primera, en la cual nos centraremos, está formada por tres macizos calcáreos. Como se puede observar en la ilustración 5 se muestra la litología de cada formación. Para comenzar con la superior: indica que es roca calcárea como se ha mencionado

antes en su mayoría, pero en la que también se encuentran pizarras, areniscas y conglomerados. Al ver la columna, también se observa los cambios que ha sufrido la zona, y como antes, que se mencionaba que existían rocas lejanas, ya no lo estaban tanto. Se percibe en las diferentes capas cabalgamientos entre estas. Luego, la parte inferior se caracteriza más, por tener dolomías y calizas entre los otros tipos ya mencionados. También es en esta zona donde hay mayor acumulación de areniscas cuarcíticas (Formación Barrios).

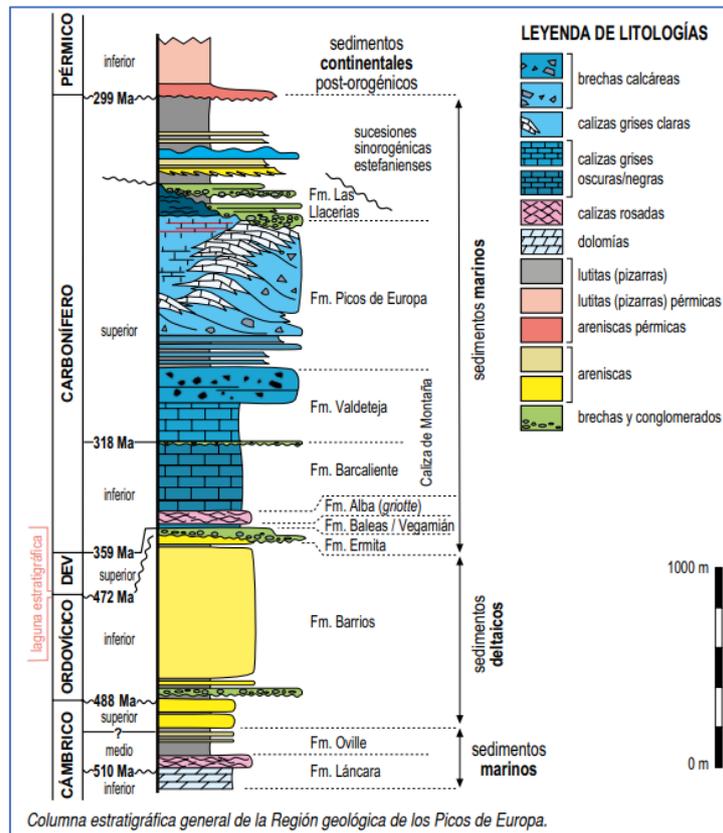


Ilustración 6: Captura de la Columna estratigráfica de la Región geológica de los Picos de Europa. Fuente: Instituto Geológico y Minero de España. Guía Geológica (2012).

Cabe destacar que cada formación se creó en un **ambiente sedimentario** distinto ya que la placa ha ido moviéndose y pasó de estar en latitudes tropicales a latitudes más frías donde la acumulación de sedimentos cambió. De ser sedimentos someros a silíceos (por ende, la formación de pizarras y areniscas cuarcíticas).

El paso de etapas y sus características en la zona de estudio (de mayor antigüedad (Ordovícico) a más reciente (Pérmico)):

Una característica de esta cordillera es, además, la existencia de una laguna estratigráfica, es decir, no hay rocas del **Ordovícico medio y superior**, silúrico y devónico. Esto es debido a que entre el **Ordovícico y Devónico medios** sufrió un levantamiento por encima del nivel del mar, la cuenca sedimentaria, mientras la parte occidental seguía cubierta de agua.

Por el contrario, aquellos sedimentos del **Devónico superior** sufrieron subsidencia de placas, por lo que salieron sedimentos nuevos en forma de areniscas en depósitos de origen fluvial. Estos sedimentos posteriormente se acumularon con los de origen marino.

La siguiente, época más larga, es la **Carbonífera**, época donde a su finalización se forme finalmente Pangea. En general se trata de grandes sedimentaciones marinas carbonatadas, de las cuales se formaron los picos y con el tiempo se depositaron en plataformas someras.

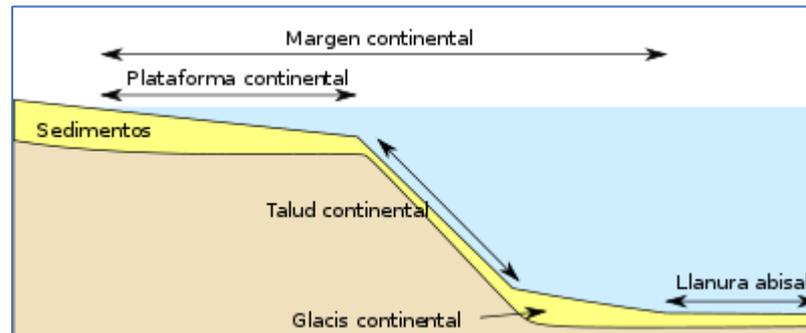


Ilustración 7: Gráfico de 'talud continental. Fuente: Géologie tout-en-un BCPST.

En la ilustración anterior se puede apreciar lo que es, en general, un talud continental, en el caso de los Picos de Europa se compone de un talud superior de arrecifes y otro inferior de brechas calcáreas en la plataforma superior; y en la inferior tableada o cuenca se halla el talud con la plataforma carbonatada. Esto nos explica lo que se puede observar por ortofotografía: fallas, zonas con sedimentos sinorogénicos (los que proceden de la erosión de una cordillera que se estaba levantando), la cuenca y las calizas. Ver en anexos.

En la parte superior fue la más sufrida con los cambios climáticos de la Tierra en la época provocando cavidades, esto fue debido a los glaciares por ejemplo o su disolución cuando estos emergían. El talud inferior, por otra parte, sufrió constantes cambios dio a que sedimentación ininterrumpida de carbonato produciendo calizas, reforzando los picos y creando capas con *chert* (nódulos de sílice microcristalina procedentes de esqueletos de esponjas) lo que permite saber que estas zonas estaban sumergidas en las partes más profundas.

Sus características principales, además de durar más de 20 millones de años, son sus taludes submarinos de pendientes superiores a 40 grados de 700 metros de profundidad y sus bordes occidental y meridional. Así como la elevación y, por ende, fragmentación de la cuenca provocando una diversidad de minerales conforme la situación de las rocas en el momento (sumergidas o no), a veces de manera sinorogénica (procesos de deformación a la vez).

Y, por último, la etapa **Pérmica**, las condiciones cambiaron. Ahora ya se trataba de un gran continente (Pangea) creando un clima general al continente formado predominado de aridez, con precipitaciones puntuales. Este clima provocó la erosión de los picos. Se reconocen los sedimentos, acumulados en superficie y en cavidades del subsuelo, de esta época por su color rojizo, debido a la oxidación de hierro en pequeñas zonas y no están deformadas de la manera que lo fueron en la anterior época.

a. Análisis de los mapas Magna50 de Beleño, Burón y Potes del IGME

Se han escogido estos tres mapas debido a que entre ellos se encuentran en los Picos de Europa, por lo que, entendiéndolos, se entiende la geomorfología del parque.

Véase el apartado 4 de materiales para los mapas.

Para empezar, entre las épocas mencionadas anteriormente, **Beleño** se compone principalmente de pizarras, cuarcitas blancas y calizas. Con formaciones del cuaternario como son las morrenas (pequeñas lomas provocadas por la no estratificación de glaciares. Hay de diferentes tipos: central, frontal, lateral y de nevero) en el Pleistoceno y en el Holoceno: rellenos de dolinas y derrubios de ladera. En general Beleño se conforma de muchos cabalgamientos y fallas debido a la situación en el noroeste de los picos.

Se puede decir, debido a los sedimentos de la zona, que las morrenas fueron provocadas por el retroceso de un glaciar pequeño. Las que se encuentran en la zona son laterales, es decir, está formada por los laterales de la loma del glaciar. Las morrenas en los picos de Europa se suelen encontrar en la vertiente norte del Macizo occidental, donde había convergencia de dos lenguas glaciares separadas por la Morrena de Entrelagos. Los rellenos de dolinas fueron formados por la acumulación de sedimentos por los glaciares (Montserrat Jiménez, Pedro Farias 2006).

A continuación, con **Burón**, la unidad de Picos de Europa que aparece en la leyenda se trata de pizarras y calizas, de dependiendo su formación son masivas, tableadas o normales. La parte perteneciente al parque se halla en la esquina superior derecha y es una zona que se encuentra separada del resto del terreno por cabalgamientos del terreno (las "arrugas" provocadas en el terreno debido al movimiento de placas). Y se puede observar la pizarras y calizas tableadas conforme nos acercamos a esos cabalgamientos.

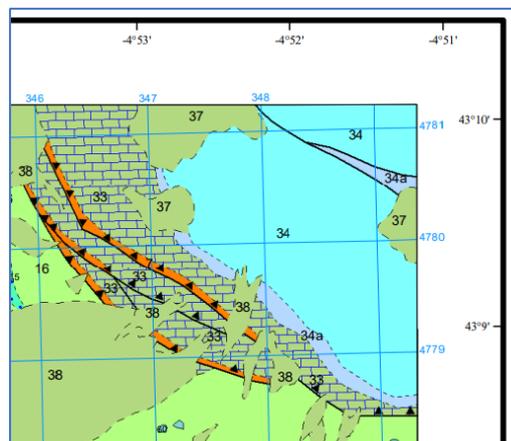


Ilustración 8: Captura de la porción de mapa donde se encuentran los picos de Europa extraído del mapa geológico de Burón. Fuente: Elaboración propia.

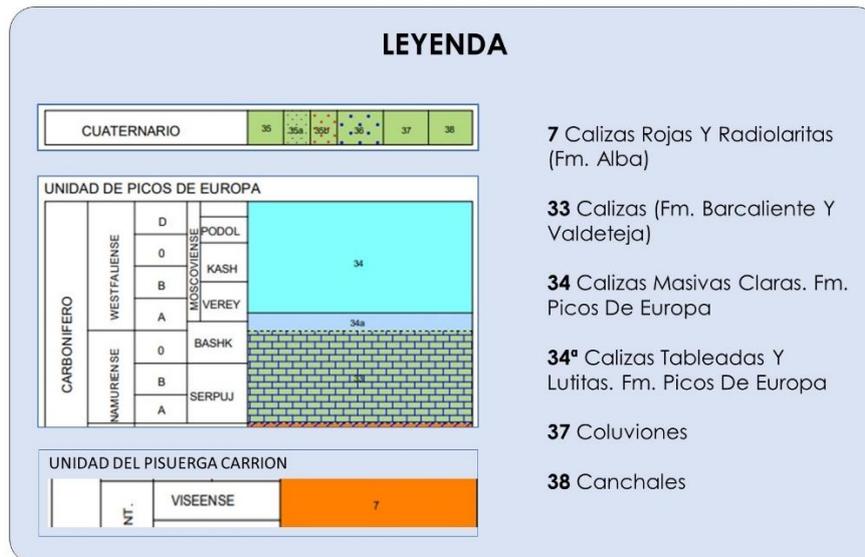


Ilustración 9: Leyenda de la Ilustración 8. Fuente: Elaboración propia

Por último, el de **Potes**, se trata, según la leyenda del mapa, de calizas (bioclásticas, nodulosas, laminadas negras, rosadas), lutitas y conglomerados calcáreos.

Las calizas bioclásticas son las formadas por fragmentos fósiles, muy probablemente se trate de la parte que estaba sumergida de los picos. Las nodulares son formadas por bioturbación () sobre fangos calcáreos (actividad química). Las calizas negras laminadas se deben a su Formación Barcaliente (típica de la parte inferior de la Caliza de Montaña). Las lutitas, formadas a partir de arcilla y micas. Y los conglomerados calcáreos, es decir, formada por grava y clastos de la zona (formados desde la fractura y/o cabalgamientos de la zona).

La zona, como se puede observar en la siguiente ilustración, consta de calizas rosas en su gran mayoría, dolinas de lutitas. Como en el anterior mapa, se muestra separada por cabalgamientos.

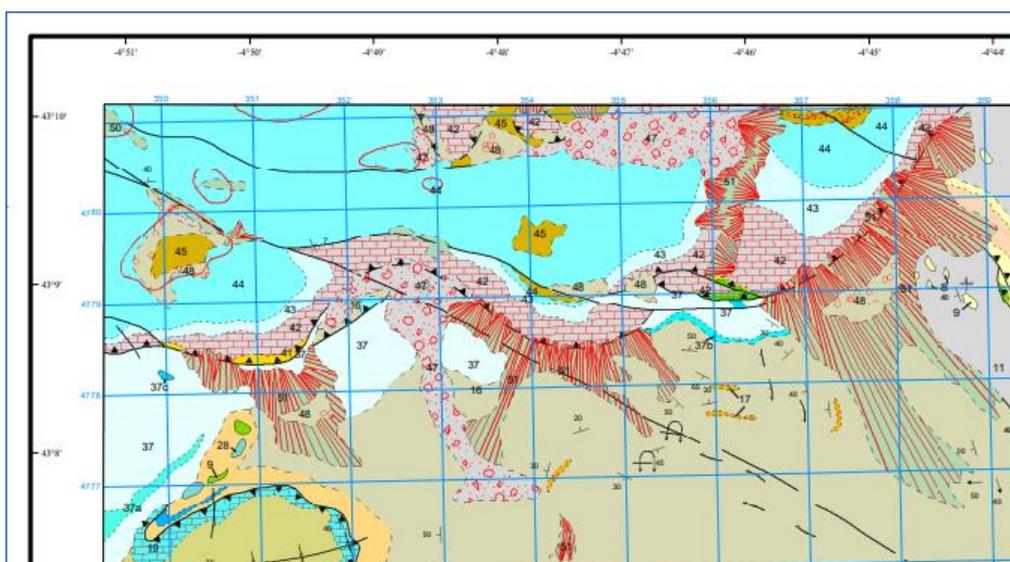


Ilustración 10: Captura de la porción de mapa donde se encuentran los picos de Europa extraído del mapa geológico de Potes. Fuente: Elaboración propia.

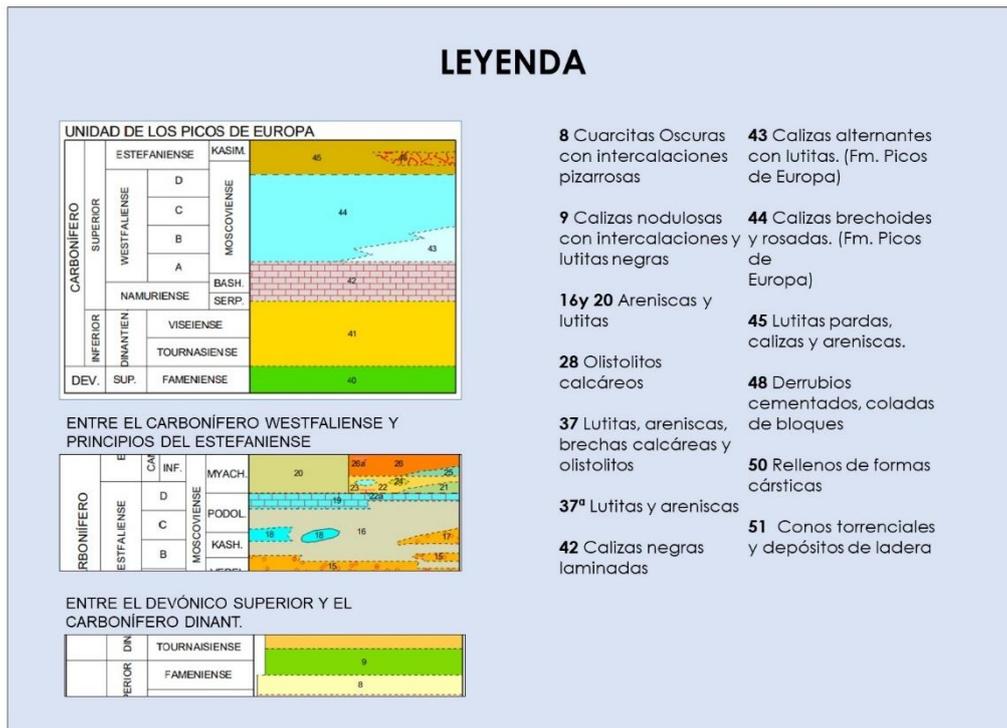


Ilustración 11: Leyenda de la Ilustración 10. Fuente: Elaboración propia

b. Análisis del mapa geológico del IGME

Véase el apartado 4 de materiales para el mapa.

Lo principal a observar en este mapa es la cantidad de cabalgamientos producidos y como las regiones, de entre las cuales están los Picos de Europa, se forman separados de las otras regiones por el Grupo Remoña. Este grupo se trata de las capas en un depósito más nuevo (contemporáneo) formado por el levantamiento y erosión de la corteza.

Otros grupos para tener en cuenta son el Potes y Maraña. Estos tres grupos se formaron en el Carbonífero superior.

c. Análisis del mapa geomorfológico del IGME

Véase el apartado 4 de materiales para el mapa.

A tener en cuenta en este mapa, son los canales de aludes, especialmente aquellos que van acompañados de abanicos de aludes, así como de la posición de las carreteras con respecto a estas zonas.

5.1.2. Análisis de la ruta de la vega de Urriellu

Esta ruta pasa por el macizo central por lo que su morfología consta de las calizas antes mencionadas y praderías de Sotres. Esta ruta muestra las partes bajas y altas, es decir, las sumergidas y las no sumergidas en otras épocas y por ende las rocas y formaciones ya comentadas. La parte alta se conforma de calizas masivas.

Como se puede ver en la ilustración 9, Picu Urriellu, consta de seis canales de aludes con zonas de abanicos, depósitos glaciares y canchales (acumulación de sedimentos al pie de las laderas de las montañas). Dadas las pendientes, que podemos suponer al ser picos de montañas, y la naturaleza del mapa, si hay aludes, lo probable es que sea por esa zona. Como fue el caso del accidente del 2021 en julio. En julio ya hablamos de una época más cálida, no es invierno, pero aun así en zonas altas, para que llegue a provocarse un alud, serían restos que ya se estarían descongelado acompañados de rocas y otros sedimentos.

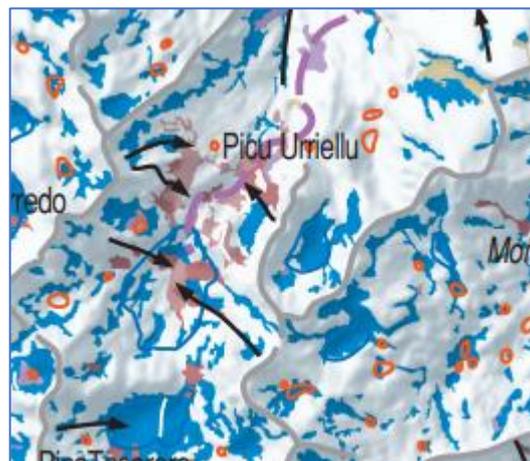


Ilustración 12: Captura del mapa geomorfológico de picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.

LEYENDA		
DINÁMICA DE LADERAS	GLACIARISMO, PERIGLACIARISMO Y NIVACIÓN	KARST
Canchales	Abanicos de aludes	Dolinas
Avalanchas rocosas	Depósitos glaciares y fluvio-glaciares	
Coluviones y derrubios	Canal de aludes	

Ilustración 13: Leyenda de la Ilustración 12. Fuente: Ilustración propia.

5.1.3. Análisis de la ruta de Cares

Se encuentra entre el macizo central y el occidental. Se compone, como se puede observar de varias zonas propensas a aludes así no tanto como glaciares como en el análisis anterior. Este accidente se produjo en febrero del 2018, pleno invierno. Por lo que las condiciones ya son distintas a las del caso anterior. Aquí hay más manto, y por lo que se puede observar a través de imágenes satelitales, fue un mes tormentoso, con mucha nube, y por ende el manto nivoso pudo a ver cedido del peso, precipitaciones o viento.

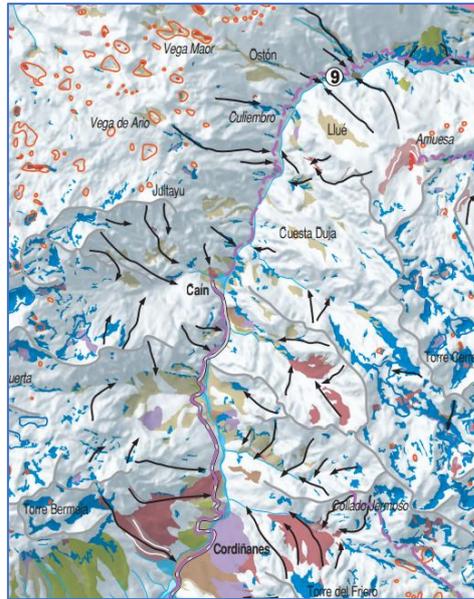


Ilustración 14: Captura del mapa geomorfológico de picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.

LEYENDA		
DINÁMICA DE LADERAS	GLACIARISMO, PERIGLACIARISMO Y NIVACIÓN	KARST
<ul style="list-style-type: none"> Canchales Avalanchas rocosas Coluviones y derrubios Depósitos cementados Flujos, deslizamientos 	<ul style="list-style-type: none"> Abanicos de aludes Depósitos glaciares y fluvioglaciares Canal de aludes Circos y aristas 	<ul style="list-style-type: none"> Dolinas
		SÍMBOLOS
		<ul style="list-style-type: none"> 9 Itinerario geológico Carretera

Ilustración 15: Leyenda de la Ilustración 14. Fuente: Elaboración propia.

5.1.4. Análisis de Jou de los Boches

Se trata de una zona en el Picu Urrielu ya analizado, en el macizo central. Lo que lo caracteriza son los boches. Estas son dolinas generadas por el hundimiento del manto de derrubios en las cavidades de un karst infra yacente. En este caso, se trata de un accidente en junio del 2015, el comienzo del verano, donde aún en las partes más altas, como se ve en la ilustración 14 hay nieve descongelandose, como el caso del 2021.

5.1.5. Anàlisis de la pared Llampa Cimera

Se trata de un valle en el macizo occidental (Cornión) de los Picos de Europa. Es una zona con pendientes más sueves que los otros dos macizos, pero con mayor cantidad de depresiones o dolinas rellenas por arcillas y material glaciar. Y por último, este accidente se produjo en 2004.



Ilustración 16: Captura del mapa geomorfológico de picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.

LEYENDA			
<p>DINÁMICA DE LADERAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Coluviones y derrubios Flujos, deslizamientos Canchales Avalanchas rocosas 	<p>GLACIARISMO, PERIGLACIARISMO Y NIVACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> Circos y aristas Canal de aludes 	<p>SÍMBOLOS</p> <ul style="list-style-type: none"> ⑥ Itinerario geológico Carretera 	<p>KARST</p> <ul style="list-style-type: none"> Dolinas Rellenos kársticos

Ilustración 17: Leyenda de la Ilustración 16. Fuente: Elaboración propia.

5.2. ANÁLISIS DE TELEDETECCIÓN

5.2.1. Elección de imágenes

Las imágenes corresponderán lo máximo posible a la fecha de suceso de los accidentes y son:

Tabla 3: Fechas de las imágenes utilizadas

Lugar del accidente	Fecha del accidente	Fecha aproximada que se usará
Urriellu	21-07-2021	14-07-2021
Cares	10-02-2018	26-02-2018
Jou de Boches (Urriellu)	22-06-2015	19-06-2015
Llampa cimera	3-05-2004	3-05-2004

5.2.2. ¿Por Qué Google Earth Engine?

Para comenzar, Google Earth Engine es una plataforma que se basa en la nube para analizar imágenes satelitales con fin no lucrativo. El lenguaje de programación que utiliza es el JavaScript, Python y REST; el procesamiento no se hace desde un software externo, pero sí desde la nube. Al no estar trabajando con los requisitos del cliente, no es necesario ningún tipo de hardware como podría ser para casos de ENVI o QGIS, no importan las especificaciones del ordenador que se use, ya que los cálculos se procesan en los servidores de Google y luego existe la opción de guardar, si se ha programado, en el Drive de la cuenta de Google que se esté usando.

El porqué de la elección de esta herramienta geomática ha sido por lo novedoso que es. Se quería comprobar cuanto de óptimo se pueden llevar a cabo procesos que se ha aprendido en asignaturas del grado con software con licencia como es ENVI, o libre como es QGIS. Aunque estas no son las únicas opciones ya que también es posible la programación en software GIS como es QGIS o ArcGIS, entre otros. De hecho, se pueden enlazar algoritmos de Google Earth Engine desde QGIS o R.

Su uso, aunque más o menos intuitivo, requiere conocimientos básicos de JavaScript y de ejemplos de funciones propias del programa, por lo que son varias las páginas de ayuda y explicación de uso de la herramienta geodésica.

Esta herramienta tiene en su repositorio más de 40 años de imágenes satelitales, aun así, solo se ha utilizado en el proyecto para las imágenes más nuevas, al ser otro tipo de reto su programación.

Algunos ejemplos de proyectos donde se ha usado son.

- “Global Forest Watch”: Se utiliza en el monitoreo forestal para la medición y visualización de cambios en los bosques del mundo (World Resources Institute 1997)
- “Cambio global de la cubierta forestal”: Para el estudio de los cambios de la cobertura vegetal globalmente usando Landsat (Universidad de Maryland 2013)

5.2.3. Cálculo en Google Earth Engine

El cálculo de las imágenes se va a llevar a cabo a través de la herramienta geodésica Google Engine, excepto las del 2004 que se hará por el EO Browser ya que son imágenes MODIS en comparación a las Sentinel-2 y Landsat 8. Los resultados se han visto en el apartado anterior. Este mismo proceso se ha llevado a cabo con la imagen del 2021, únicamente se ha cambiado la fecha y nombres de exportación.

Se ha elegido el NDSI (Índice Diferencial Normalizado de Nieve) para la obtención de zonas de nieve en un umbral entre 0 y 1, siendo 1 las zonas con nieve. Para ello se ha usado la banda verde (B3) e infrarrojo de onda corta (SWIR 1).

Pero como también puede haber confusiones con agua, se ha hecho el NDWI (índice de Agua de Diferencia Normalizada) y se han restado las bandas para dar solo con la parte nevada. Para ello se ha usado la banda verde (B3) y la Infrarrojo cercano (B8).

- a. Primero se importan las imágenes de Sentinel-2 desde el buscador del software

//Se utiliza la función 'maskS2clouds' para, de manera rápida, quitar las nubes que puedan entorpecer, de la imagen. Se usa con la banda QA60 es una máscara de nubes con resolución de 60 metros.

```
function maskS2clouds(image) {  
  var qa = image.select('QA60');
```

```
  // Los bits 10 y 11 son nubes y cirros respectivamente. Al reconocer estos bits  
  los eliminará.
```

```
  var cloudBitMask = 1 << 10;  
  var cirrusBitMask = 1 << 11;
```

```
  // Ahora se establecen las condiciones claras, cuando ambas son 0
```

```
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)  
    .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
```

```
  //Creando la máscara sin las nubes
```

```
  return image.updateMask(mask).divide(10000);  
}
```

- b. En este apartado se realizan los cálculos.

//filtra la fecha de la imagen que se quiere obtener. Se han usado las fechas de la tabla anterior. También se ha buscado por porcentaje de nube.

```
var sentinel2A= sentinel2A.filterDate('2018-02-24','2018-02-  
27').filterBounds(geometry)  
.filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE',20)).map(maskS2clouds).first();  
print(sentinel2A)
```

```
// ver la imagen desde el mismo software en RGB
```

```
var visualization = {  
  min: 0.0,  
  max: 0.3,  
  bands: ['B4', 'B3', 'B2'],  
};
```

//Aquí, mediante las funciones implícitas en el software, se aplica por este orden:
NDSI

```
var imagen= sentinel2A.normalizedDifference(['B3','B11'])
```

//NDWI

```
var imagenAgua= sentinel2A.normalizedDifference(['B3','B8'])
```

//Se comprueba que se confunde algunas zonas de agua por nieve, por lo que se restan las imágenes con la idea de que solo queden las zonas de nieve.

```
var resta= imagen.subtract(imagenAgua)
```

//Se procedió a crear una máscara, que será la utilizada en los mapas, para poder darle un umbral a lo que es nieve y lo que no. entre 0 y 1. Después de varias pruebas, se decidió tomar el 0,5 como valor donde se veía mejor la diferencia entre nieve y no nieve. Por ello se cogen aquellos valores iguales o mayores a 0,5 considerándose nieve.

```
var restaMask= resta.gt(0.5)
```

//Esta línea es porque al buscar daba error de todas las bandas, también intentando procesar las QA por ejemplo, para solucionarlo se le dice que busque solo por aquellas bandas que empiecen por B, ya que así se encuentran en el software.

```
var rgb=sentinel2A.select('B.+')
```

//Para que aparezcan en el visor del software según unos rangos.

```
Map.addLayer(sentinel2A,visualization,'RGB')
```

```
Map.addLayer(imagen,{min: 0, max:1},'NDSI')
```

```
Map.addLayer(imagenAgua,{min: 0, max:1},'NDWI')
```

```
Map.addLayer(resta,{min: 0, max:1},'Resta')
```

```
Map.addLayer(restaMask)
```

```
var fecha='2018-02-26'
```

//Para exportar las imágenes en GeoTiff y poder usarlas en QGIS, en este caso. El parámetro de 'maxPixels' es para evitar el error que salta al ser imágenes grandes. Y el parámetro 'Scale' es la resolución del pixel, en este caso de 10 m.

```
Export.image.toDrive({  
  image: rgb,  
  folder: 'imgTFG',  
  description: 'RGB_'+fecha,  
  fileNamePrefix: 'RGB_'+fecha,  
  fileFormat: 'GeoTIFF',  
  maxPixels: 120560400,  
  scale: 10
```

```
});
```

```
Export.image.toDrive({  
  image: imagen,  
  folder: 'imgTFG',  
  description: 'Nieve_'+fecha,  
  fileNamePrefix: 'Nieve_'+fecha,  
  fileFormat: 'GeoTIFF',
```

```
maxPixels: 120560400,  
scale: 10  
});
```

```
Export.image.toDrive({  
  image: imagenAgua,  
  folder: 'imgTFG',  
  description: 'Agua_'+fecha,  
  fileNamePrefix: 'Agua_'+fecha,  
  fileFormat: 'GeoTIFF',  
  maxPixels: 120560400,  
  scale: 10  
});
```

```
Export.image.toDrive({  
  image: resta,  
  folder: 'imgTFG',  
  description: 'Resta_'+fecha,  
  fileNamePrefix: 'Resta_'+fecha,  
  fileFormat: 'GeoTIFF',  
  maxPixels: 120560400,  
  scale: 10  
});
```

```
Export.image.toDrive({  
  image: restaMask,  
  folder: 'imgTFG',  
  description: 'Mascara_'+fecha,  
  fileNamePrefix: 'Mascara_'+fecha,  
  fileFormat: 'GeoTIFF',  
  maxPixels: 120560400,  
  scale: 10  
});
```

5.2.4. Resultados

Antes de ver y analizar los resultados obtenidos, primero con un mapa de situación podemos ver a simple vista las diferentes rutas analizadas:

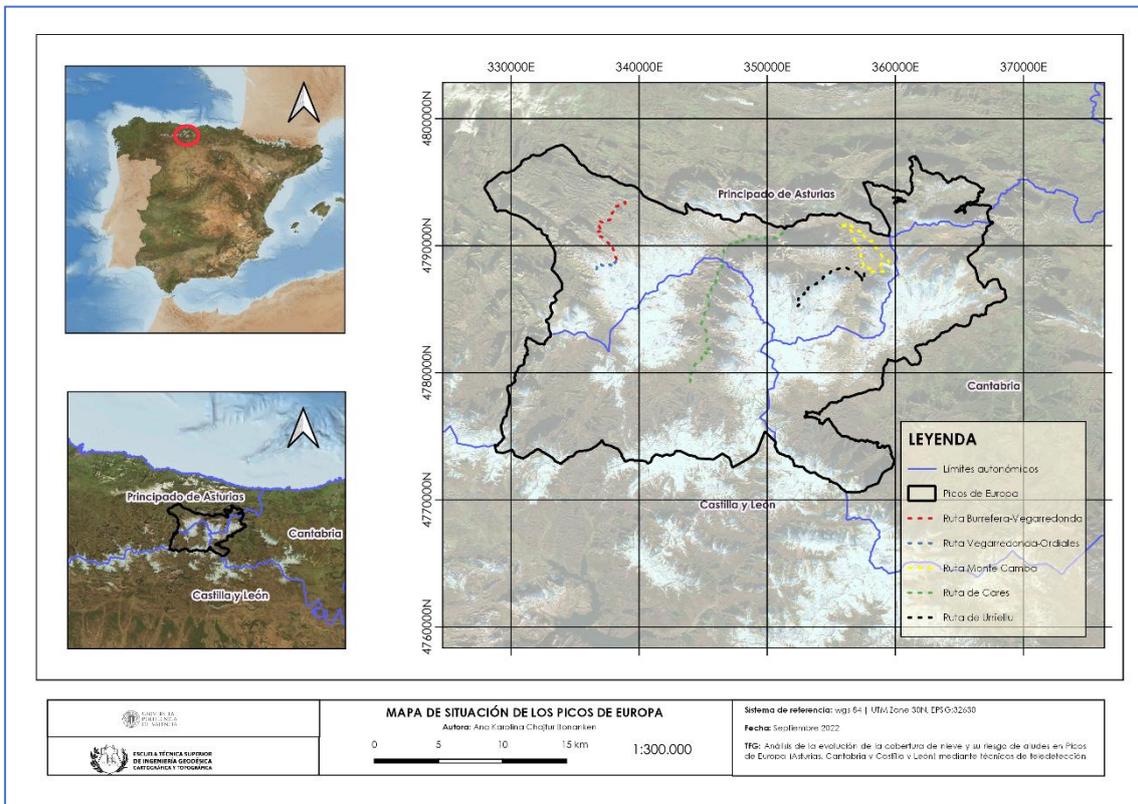


Ilustración 18: Mapa de situación de los Picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.

a. Mapas

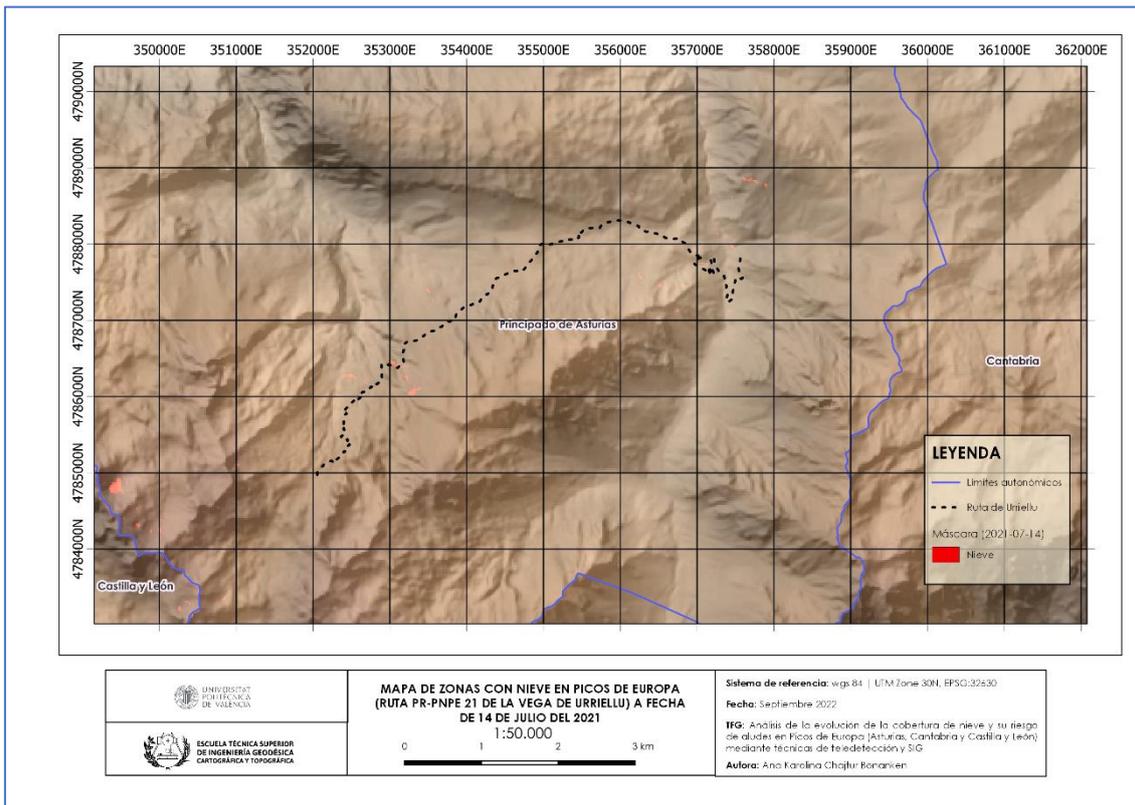


Ilustración 19: Mapa de zonas con nieve en Picos de Europa (Ruta PR-PNPE 21 de la Vega de Urriellu) a fecha de 14 de julio del 2021. Fuente: Elaboración propia.

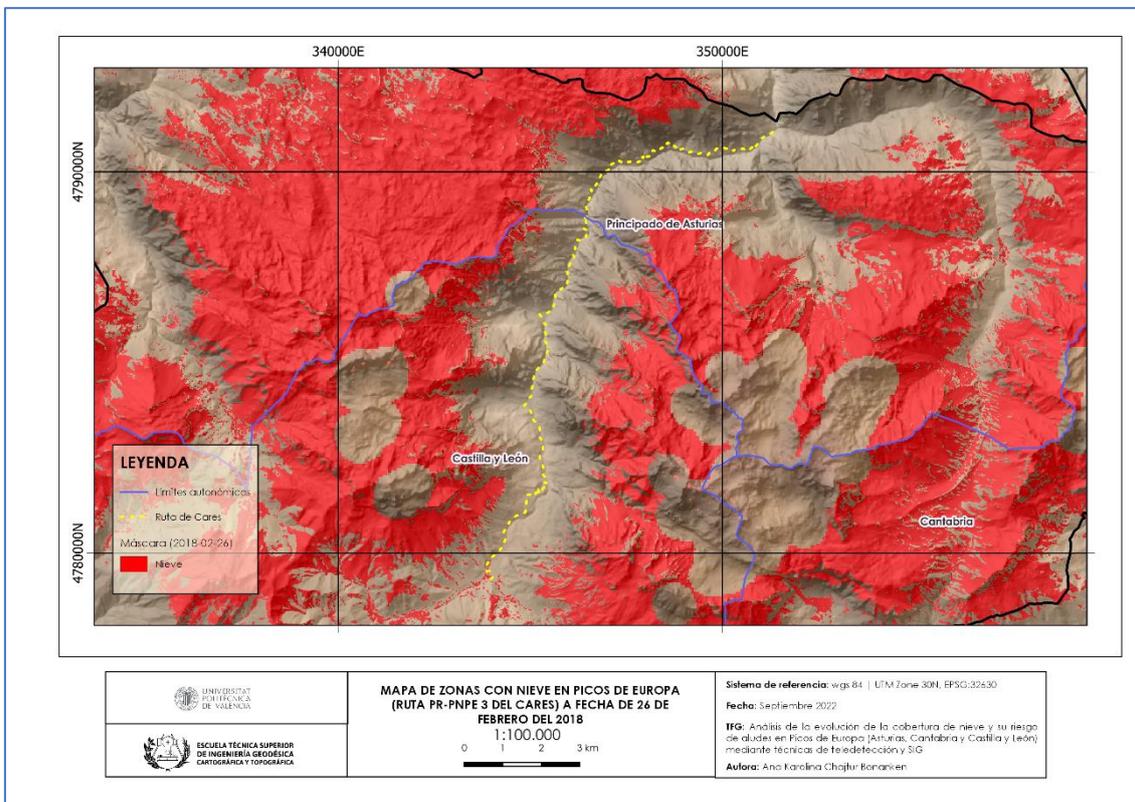


Ilustración 20: Mapa de zonas con nieve en Picos de Europa (Ruta PR-PNPE 3 del Cares) a fecha de 26 de febrero del 2018. Fuente: Elaboración propia.

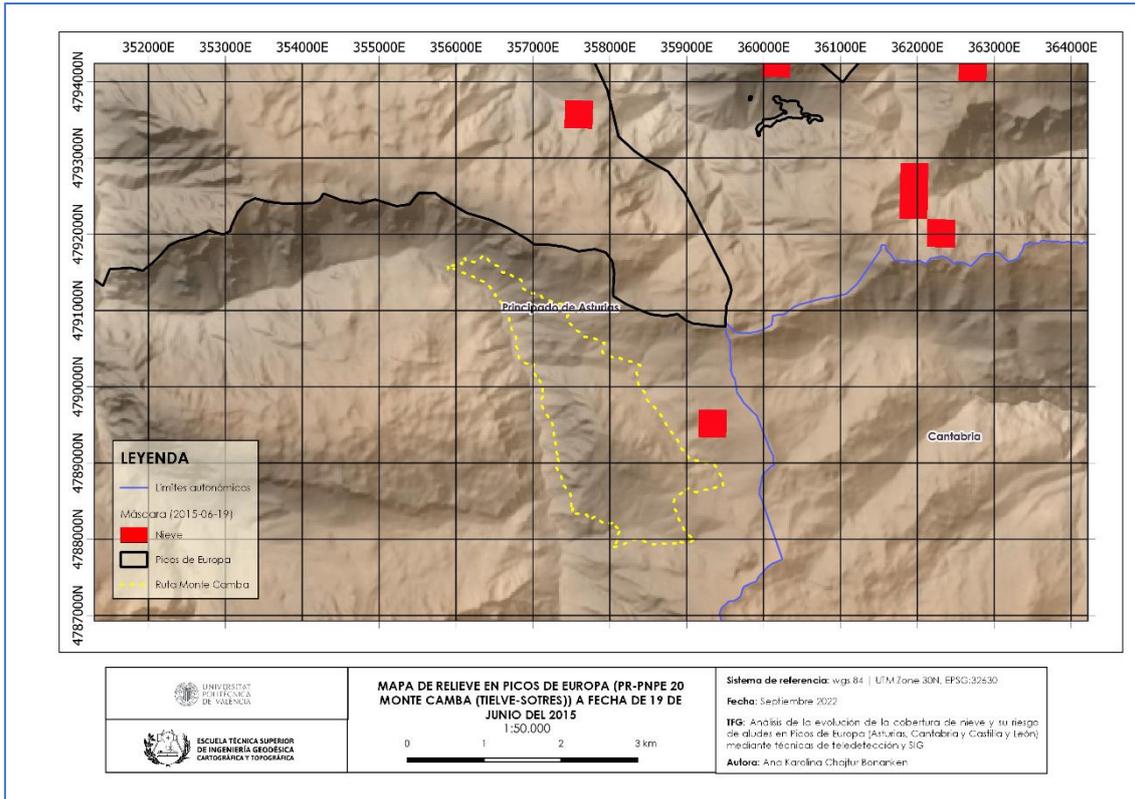


Ilustración 21: Mapa de relieve en Picos de Europa (PR-PNPE 20 Monte Camba (Tielve-Sotres)) a fecha de 19 de junio del 2015. Fuente: Elaboración propia.

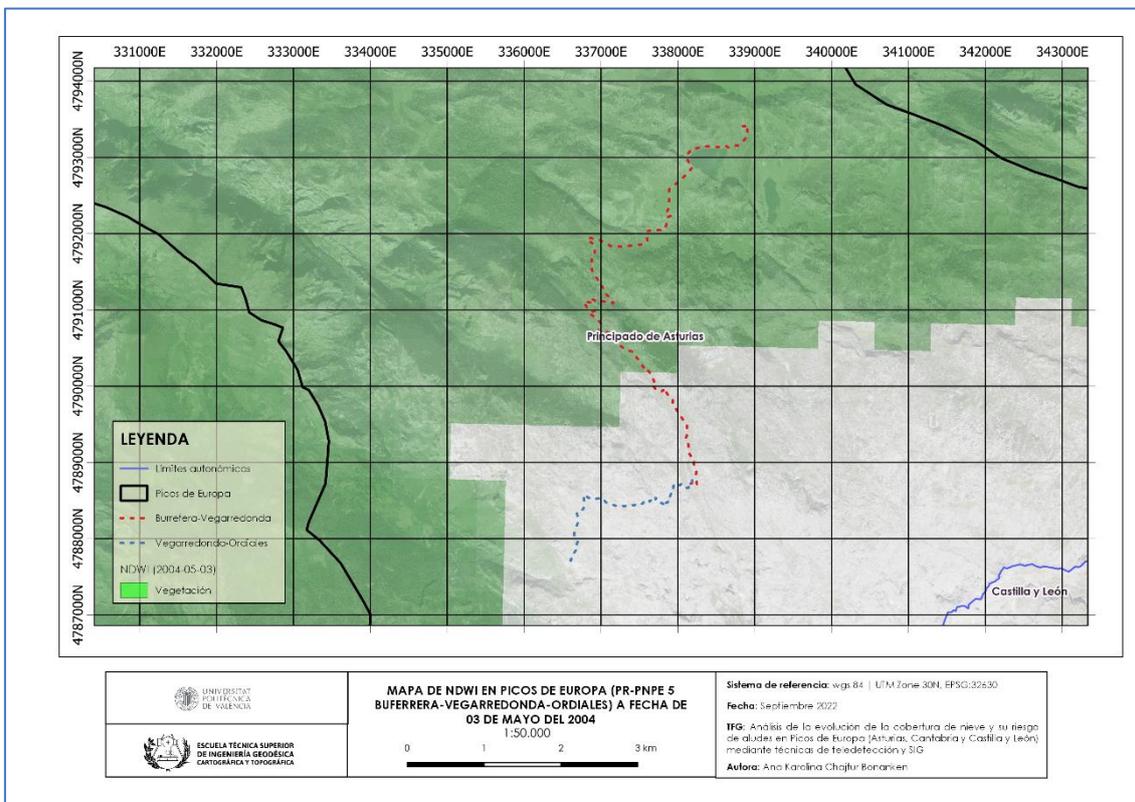


Ilustración 22: Mapa de NDWI en Picos de Europa (PR-PNPE 5 Buferrera - Ordiales) a fecha de 03 de mayo del 2004. Fuente: Elaboración propia.

b. Comentarios

Comentando en orden a posición en el apartado a) Mapas.

Es casi imperceptible, ver en el Mapa de Urriellu, las manchas rojas de la máscara en el terreno, especialmente por la zona, pero si se puede ver en la parte suroeste de la ruta, hay más nieve todavía en julio del año 2021.

Por el contrario, en la ruta de Cares, al ser plena temporada de invierno, son las consecuencias de un temporal que hubo por esas fechas. De hecho, es de las pocas imágenes, tras la tormenta que se han podido obtener con poco 'cloud coverage'.

La ruta del Monte camba, la más cercana a Jou de Boches, donde ocurrió el accidente, se puede ver la detección de nieve al lado de la ruta puntualmente, también es por las fechas, así como en el de Urriellu, que son en verano.

Y, por último, la de LLampa cimera, que tiene como ruta cercana la de Burrefera – Ordiales, solo se pudo analizar el agua en la zona y su vegetación, ya primaveral. Aunque no en la zona de la ruta, se detectó agua en el sur de los Picos, pero nada que pueda deducir que la avalancha provocada fue a causa de agua cerca. De hecho, se refleja la vegetación de la zona.

5.3. ANÁLISIS SIG

Para complementar a los resultados obtenidos mediante la teledetección, se procedió a hacer un estudio de riesgo de aludes mediante un mapa de pendientes a partir de los MDT descargados del Centro de Descargas de la IGN. Asimismo, se creó el de orientaciones para su complementación.

a. Creación de los mapas de pendientes y de orientaciones

En QGIS se ha hecho el mapa de pendientes:

1. Se han descargado del centro de descargas los MDT25 que conforman la zona. Son los cuatro archivos que aparecen en la siguiente leyenda:

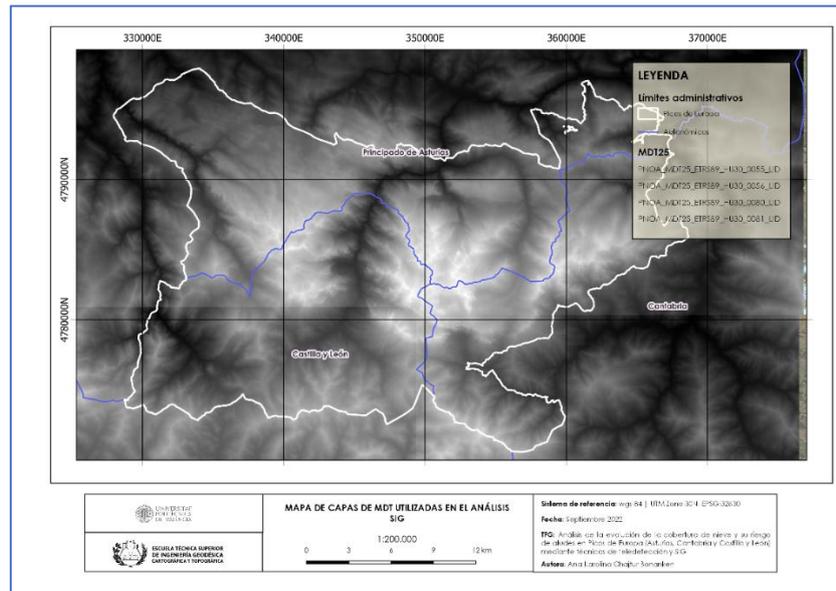


Ilustración 23: Mapa de capas de MDT usadas en el análisis SIG. Fuente: Elaboración propia.

2. Unión de los MDT. Ráster -> Miscelánea -> Combinar. Creamos una sola capa que tenga los cuatro archivos de MDT del área de trabajo:

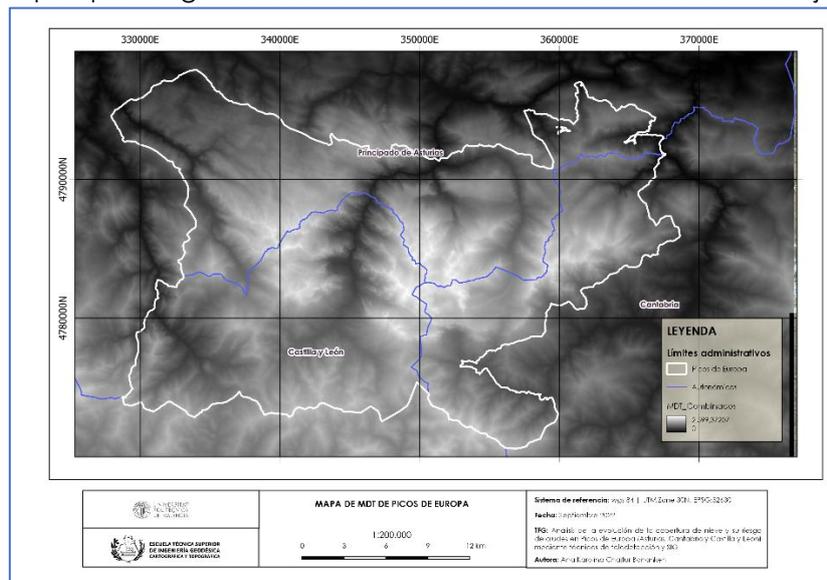


Ilustración 24: Mapa de MDT de Picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.

3. Creamos el mapa de pendientes. Ráster -> Análisis -> Pendientes. Se ha dejado que el ráster resultante sea en grados ya que la clasificación posterior será en estas unidades.

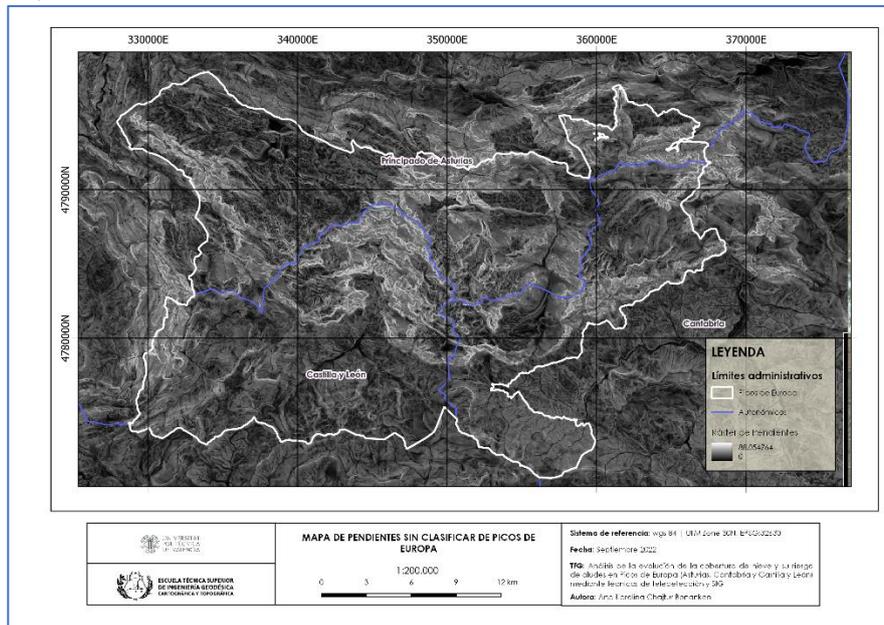


Ilustración 25: Mapa de pendientes sin clasificar en Picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.

4. La clasificación de las pendientes se ha hecho mediante la Calculadora Ráster.

La clasificación es la siguiente de acuerdo con lo estudio en el análisis geomorfológico de pendientes, siendo que pendientes mayores de 45 grados son de riesgo alto:

Tabla 4: Clasificación de pendientes. Fuente: Elaboración propia.

Clase	Grados	Significado
1	0 - 15	Sin Riesgo
2	15 - 30	Riesgo Bajo
3	30 - 45	Riesgo Moderado
4	>45	Riesgo Alto

El cálculo ha sido:

```

Expresión de la calculadora ráster

(("pendiente@1" >= 0) AND ("pendiente@1" <= 15)) * 1 +
(("pendiente@1" > 15) AND ("pendiente@1" <= 30)) * 2 +
(("pendiente@1" > 30) AND ("pendiente@1" <= 45)) * 3 +
("pendiente@1" > 45) * 4

Expresión válida
    
```

Ilustración 26: Captura de pantalla de QGIS. Expresión usada en la calculadora ráster para su clasificación según el MDT combinado. Fuente: Elaboración propia.

Y el resultado el mapa de riesgo de aludes por clasificación de pendientes con las rutas analizadas:

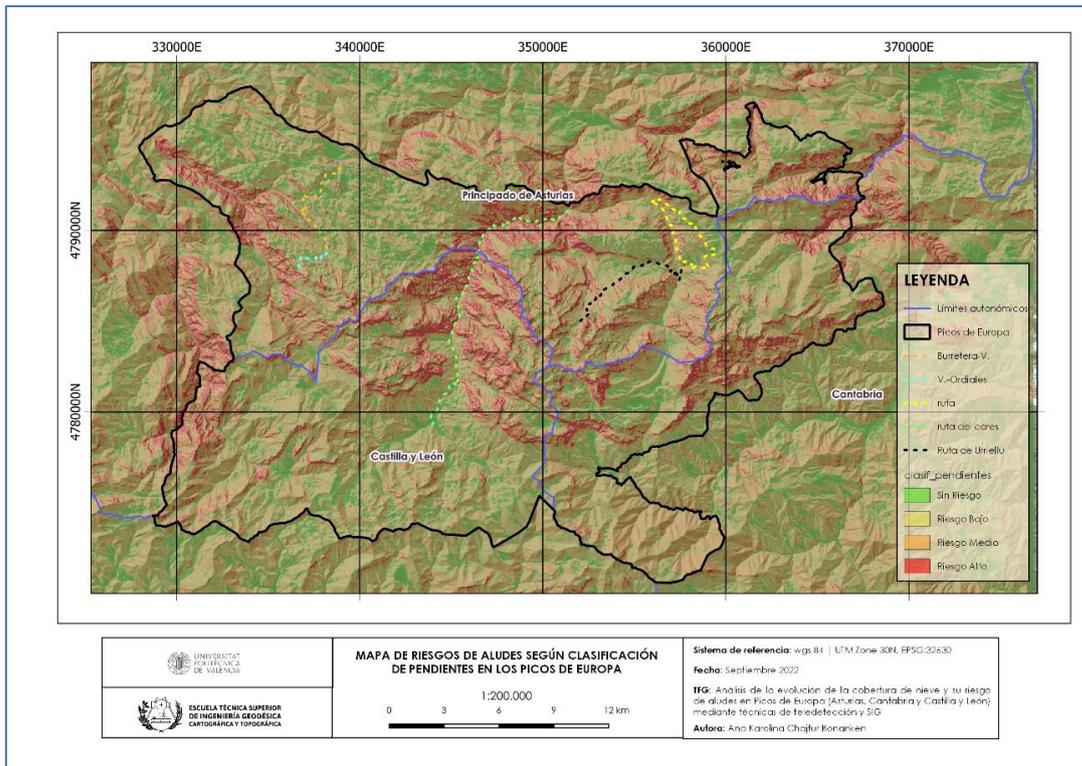


Ilustración 27: Mapa final. De riesgos de aludes según clasificación de pendientes en los Picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.

- Mapa de orientaciones (Hillshade), con este no se pretende tener unas conclusiones cualitativas sino tan solo ver la topografía en función de la fuente de luz y orientación de la superficie.

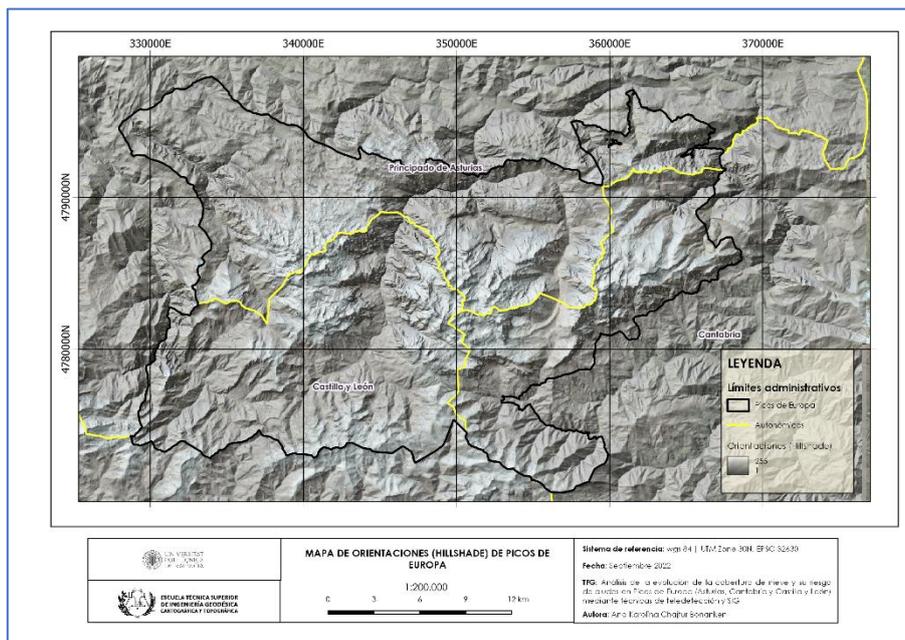


Ilustración 28: Mapa de orientaciones (Hillshade) de Picos de Europa. Fuente: Elaboración propia.

6. CASO PRÁCTICO (Analizando el alud de Urriellu del 21 de Julio del 2021)

Unos de los objetivos de este trabajo, además de conocer los aludes, como se provocan, que circunstancias y donde en Picos de Europa; también es la aplicación de estos conocimientos para la prevención aproximada y su estado después del alud. Para ello se estudiará el último alud, del 21 de Julio del 2021 en Urriellu.

Para su estudio, primero se buscó las imágenes disponibles del área días antes y después. Dado que, para poder así obtener mas imágenes, se aumentó el porcentaje de nubes en la imagen, se han ido viendo una a una a ver si afectaban al área.

```

ImageCollection COPERNICUS/S2_SR (14 elements)
  type: ImageCollection
  id: COPERNICUS/S2_SR
  version: 1669203449329938
  bands: []
  features: List (14 elements)
    0: Image COPERNICUS/S2_SR/20210605T110619_20210605T111526_T30TUN (23 bands)
    1: Image COPERNICUS/S2_SR/20210610T110621_20210610T111434_T30TUN (23 bands)
    2: Image COPERNICUS/S2_SR/20210615T110619_20210615T111721_T30TUN (23 bands)
    3: Image COPERNICUS/S2_SR/20210625T110619_20210625T110935_T30TUN (23 bands)
    4: Image COPERNICUS/S2_SR/20210630T110621_20210630T111118_T30TUN (23 bands)
    5: Image COPERNICUS/S2_SR/20210705T110619_20210705T110816_T30TUN (23 bands)
    6: Image COPERNICUS/S2_SR/20210710T110621_20210710T111452_T30TUN (23 bands)
    7: Image COPERNICUS/S2_SR/20210715T110619_20210715T110933_T30TUN (23 bands)
    8: Image COPERNICUS/S2_SR/20210720T110621_20210720T111452_T30TUN (23 bands)
    9: Image COPERNICUS/S2_SR/20210730T110621_20210730T111452_T30TUN (23 bands)
    10: Image COPERNICUS/S2_SR/20210804T110619_20210804T111529_T30TUN (23 bands)
    11: Image COPERNICUS/S2_SR/20210809T110621_20210809T110944_T30TUN (23 bands)
    12: Image COPERNICUS/S2_SR/20210814T110619_20210814T110935_T30TUN (23 bands)
    13: Image COPERNICUS/S2_SR/20210819T110621_20210819T111451_T30TUN (23 bands)
  properties: Object (21 properties)
  
```

Ilustración 29: Captura de pantalla de Google Earth Engine con la colección de imágenes para Picos de Europa desde el 1 de junio del 2021 hasta el 21 de agosto del 2021. Fuente: Propia.

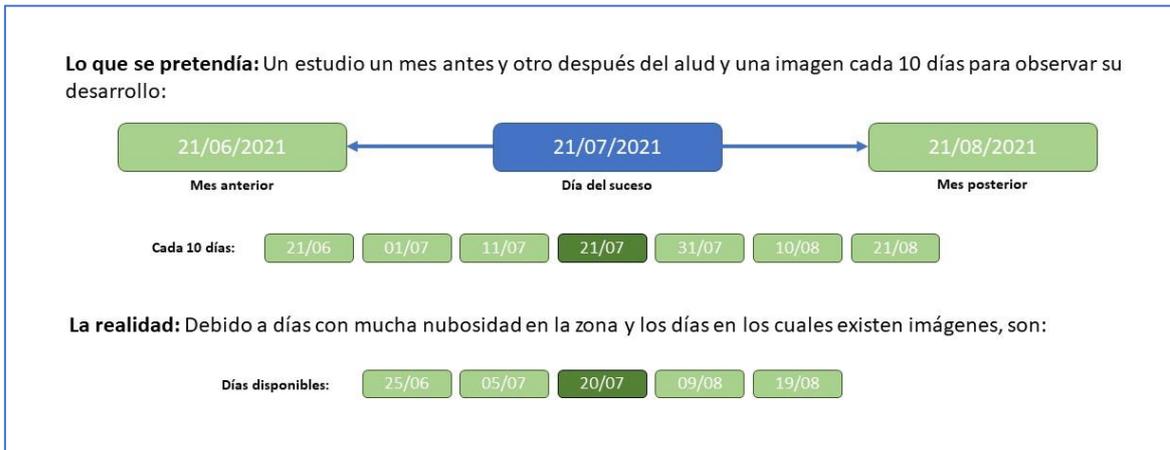
```

Imports (2 entries)
  var geometry: Point (-4.85, 43.20)
  var imageCollection2: ImageCollection "Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2A"
1 var sentinel2A = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2_SR"),
2   geometry = /* color: #d63000 */ ee.Geometry.Point([-4.840367359341659, 43.19951210874643]);
3 var sentinel2A = sentinel2A.filterDate('2021-06-01', '2021-08-21').filterBounds(geometry)
4 .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 50));
5 print(sentinel2A)
6 var visualization = {
7   min: 0.0,
8   max: 3000,
9   bands: ['B4', 'B3', 'B2'],
10 };
11 var dataset = ee.Image('COPERNICUS/S2_SR/20210819T110621_20210819T111451_T30TUN');
12 Map.addLayer(dataset, visualization, 'RGB')
13
  
```



Ilustración 30: Reconocimiento visual de una de las imágenes, como ejemplo, en Google Earth Engine. Fuente: Propia.

Las fechas escogidas por tanto son:



Con estas imágenes se ha realizado máscaras de la misma manera que el análisis de teledetección obteniendo de junio a agosto:

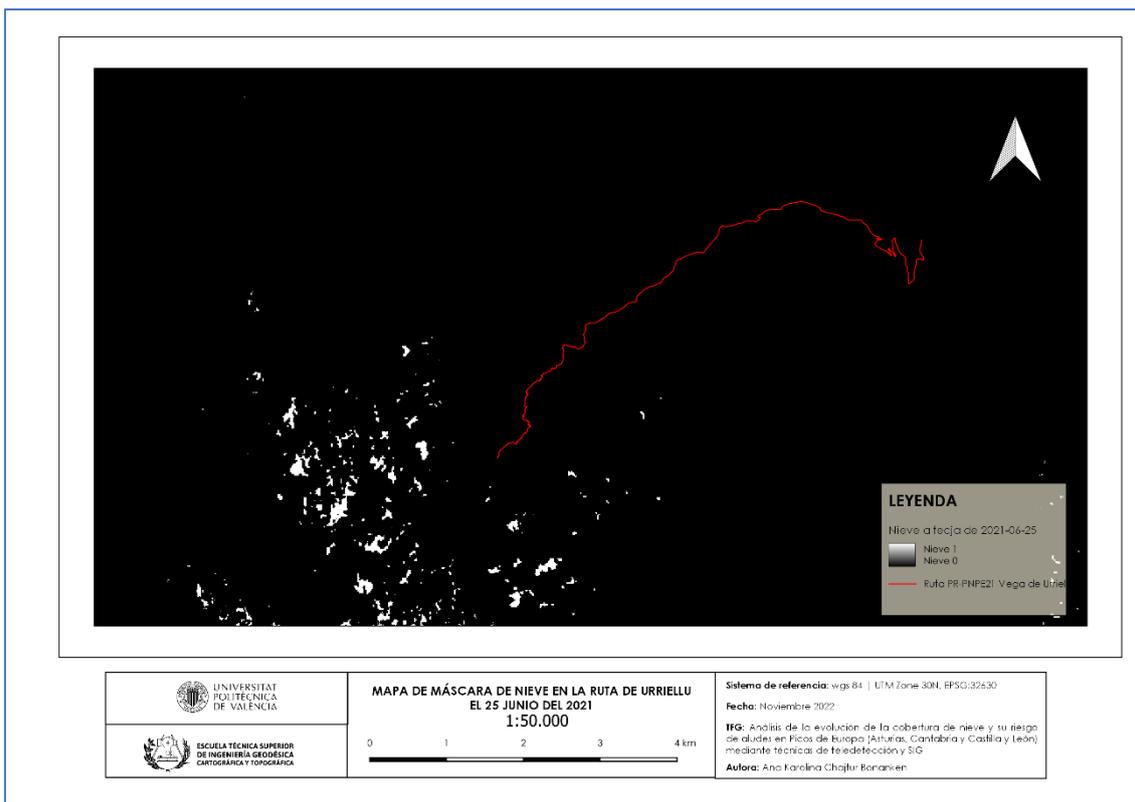


Ilustración 31: Mapa de máscara de nieve en la ruta de Urriellu a fecha de 25 de junio del 2021. Fuente: Propia.

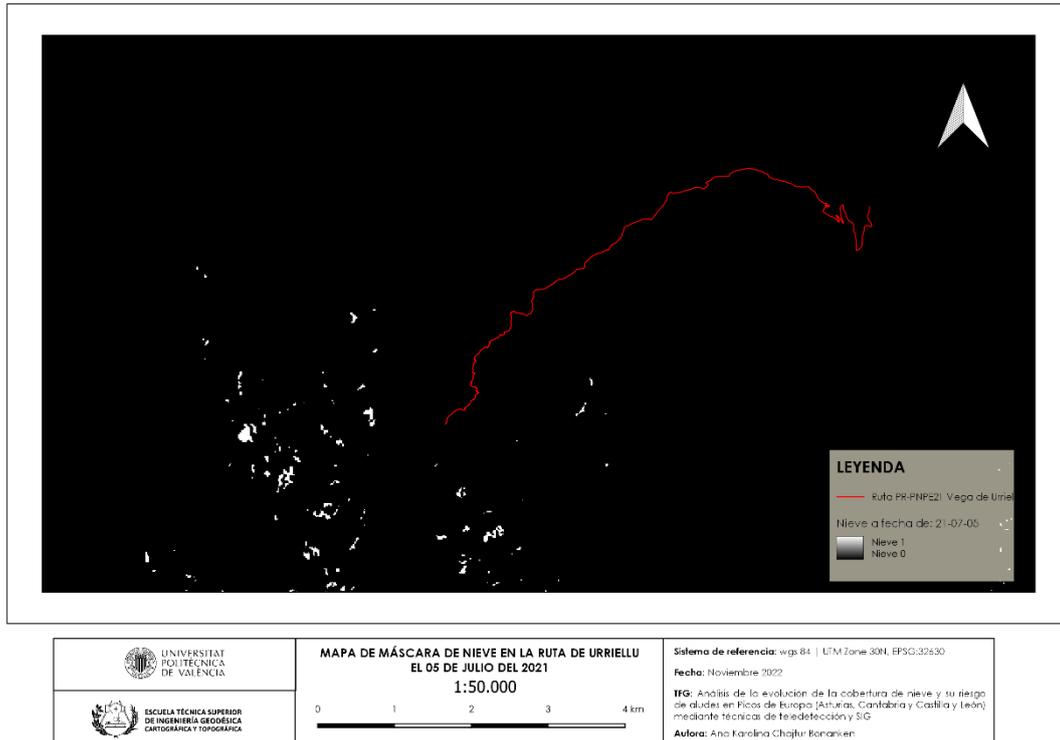


Ilustración 32: Mapa de máscara de nieve en la ruta de Urriellu a fecha de 5 de julio del 2021. Fuente: Propia

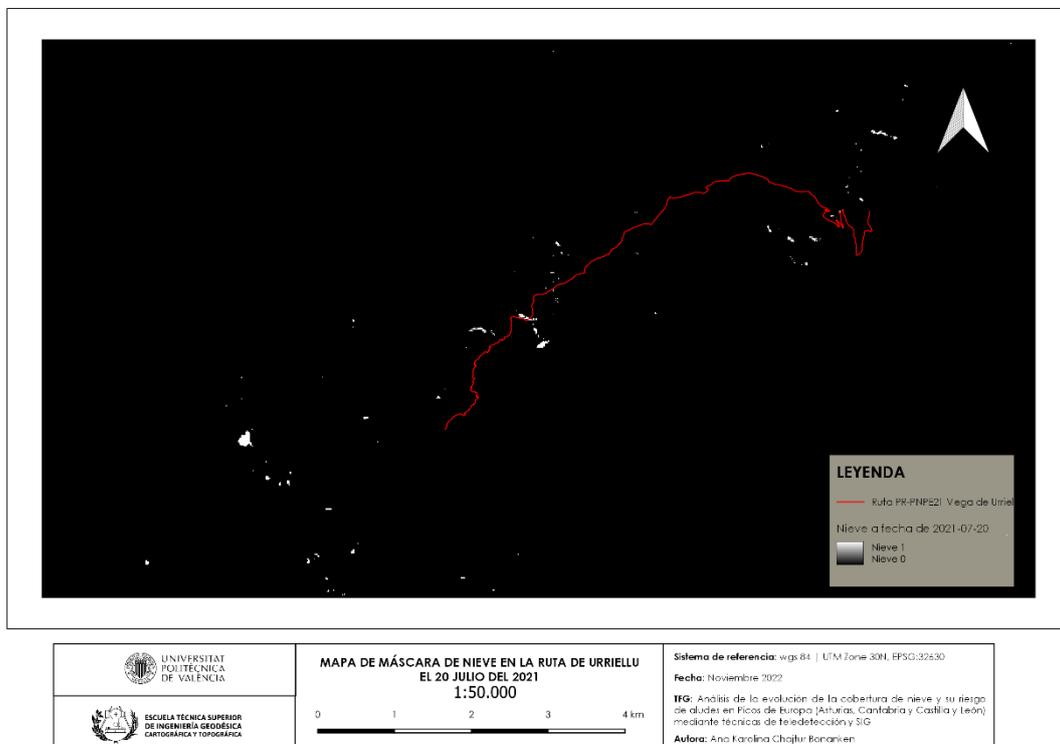


Ilustración 33: Mapa de máscara de nieve en la ruta de Urriellu a fecha de 20 de julio del 2021. Fuente: Propia

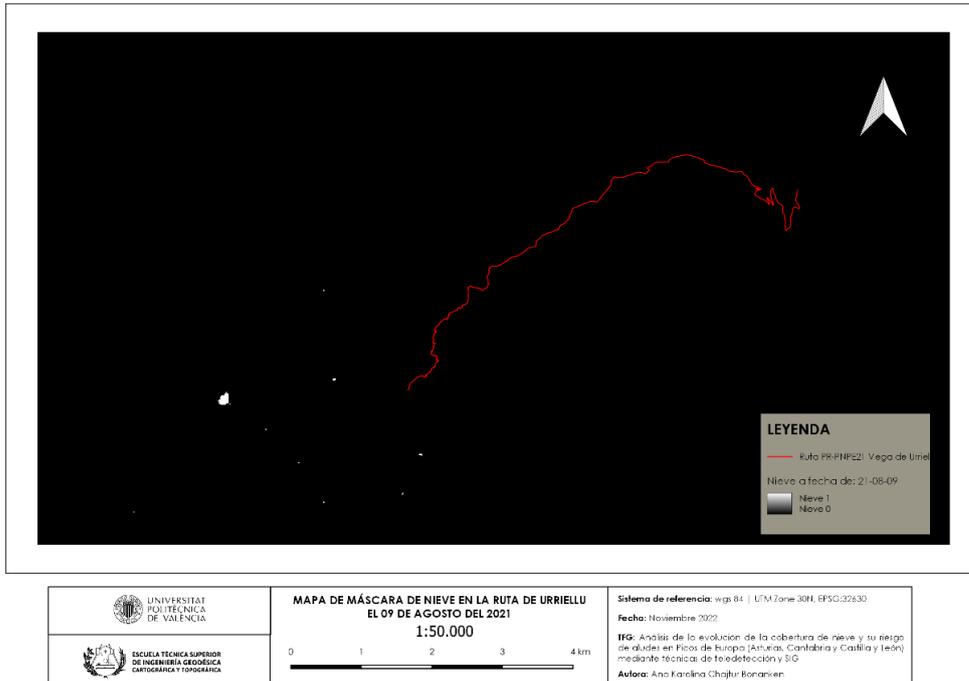


Ilustración 34: Mapa de máscara de nieve en la ruta de Urriellu a fecha de 9 de agosto del 2021. Fuente: Propia

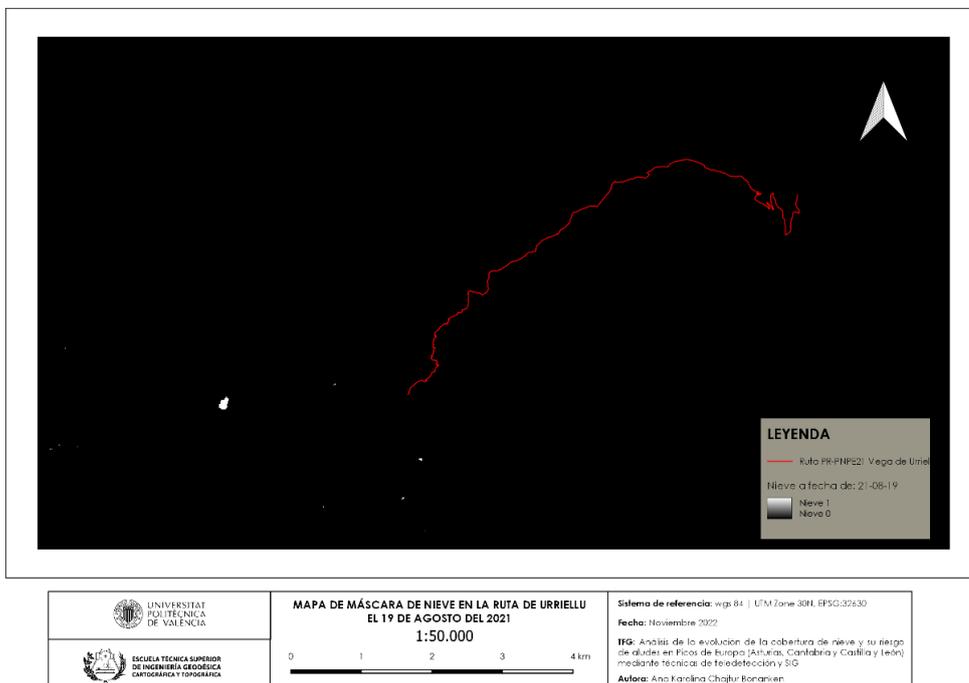


Ilustración 35: Mapa de máscara de nieve en la ruta de Urriellu a fecha de 19 de agosto del 2021. Fuente: Propia

Como conclusión podemos ver como un día antes, hay una zona de nieve justo en la ruta donde sucedió, así como vemos que antes de la tormenta se va creando la nieve y tras la tormenta ya no hay rastro de nieve.

Ahora para el análisis SIG de la zona, para saber las poblaciones más cercanas a la ruta que podrían o no estar en alerta:

Teniendo las poblaciones de España, y en especial, del área, primero se ha hecho un buffer desde la ruta a 150 metros para después poder hacer la intersección entre las dos capas y obtener aquellas poblaciones cercanas que podrían verse afectadas si algún otro alud llegase a pasar.

Las poblaciones dentro del área son:

nombre	codine	ine	fecharef	habitantes
Majada de la Terenosa	33008010299	0	2014	NULL
Majada la Robre	33008010299	0	2014	NULL
Mortorio	33008010299	0	2014	NULL
Majada Soterraña	33008010299	0	2014	NULL

Ilustración 36:Tabla de atributos resultado de la intersección de la ruta y las poblaciones. Fuente: Propia.

Y el resultado es:

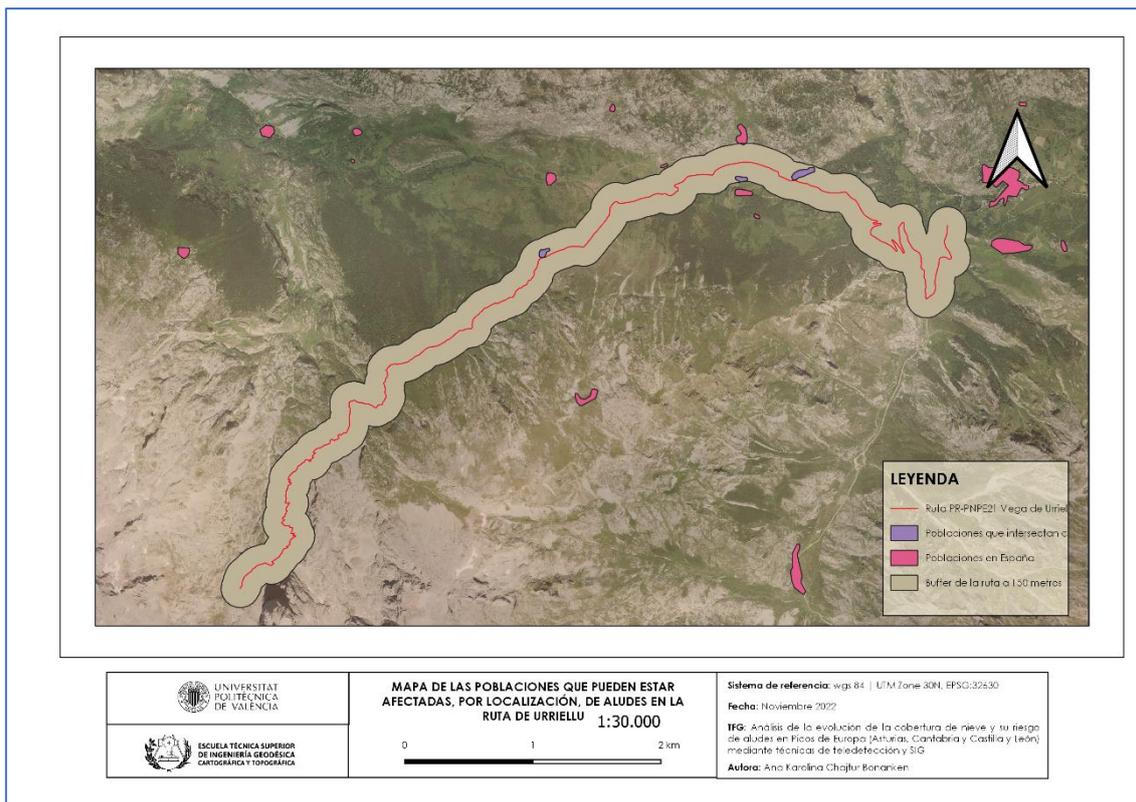


Ilustración 37:Mapa de las poblaciones que pueden estar afectadas por aludes en la ruta de Urriellu. Fuente: Propia

Como podemos ver, no hay habitantes en estas poblaciones por lo que no hay peligro real. Aun así, es una zona propensa a aludes, aunque no tan significativos como para causar heridos, como ocurrió en 2021.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las rutas más cercanas a los accidentes ocurridos en los años 2004, 2015, 2018 y 2021 por aludes concluye en que, aunque se pueden producir por muchas características distintas, destacan las épocas donde estos ocurren, dos en invierno y los otros en primavera-verano, donde las condiciones de la nieve han cambiado, así como la influencia del riesgo por la pendiente, que generalmente coincide las zonas con riesgo medio o alto y partes cercanas de las rutas.

Aunque el clima es importante, también ha sido interesante el analizar su geomorfología, la creación de los picos y sus características para la propensión de estos aludes, ya que la estabilidad del terreno también juega un papel importante. Como cumplimentación, como futuro proyecto, sería la realización de un estudio de campo, así como el monitoreo regular de cada ruta y la cantidad de personas y sobre qué horas suele pasar por ahí, aumentando el riesgo de accidentes por aludes.

Por lo que, teniendo todas estas características en cuenta, aplicado a una ruta, como ejemplo, sabiendo que la zona podría presentar peligro, por localización, geomorfología, nivel de pendiente, son buenos indicadores. Aun así, no lo suficiente ya que no es una causalidad que pase todos los años, más bien un fenómeno un tanto excepcional. Aun así, podemos ver que si cumple las condiciones necesarias para una avalancha. Por ende, aunque no este seguro la formación de avalanchas, nunca están de más las normas de prevención.

8. CARTOGRAFÍA GENERADA

Por este orden en Anexos:

- a. Mapa de Situación
- b. Mapa de riesgos de aludes según pendientes
- c. Mapa del análisis de agua del 2004
- d. Mapa del análisis de nieve del 2015
- e. Mapa del análisis de nieve del 2018
- f. Mapa del análisis de nieve del 2021
- g. Mapa de datos (MDT) del área de estudio
- h. Mapa de la combinación de los MDR del área de estudio
- i. Mapa de pendientes sin clasificación
- j. Mapa de orientaciones
- k. Mapa de zonas de riesgo de aludes en España
- l. Mapas de máscaras

9. CONCLUSIONES

Dado que el objetivo de este proyecto, mediante el análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León), es obtener el mapa de riesgo de aludes relacionado con las rutas analizadas.

En cuanto a las rutas, se ha podido ver las diferencias existentes del momento en que se ha producido el alud con la época del año. También es cierto, que no todo depende de la cantidad de nieve para que se provoque un alud, eso se demuestra con los aludes de primavera y en verano. Estos aludes, no han sido provocados por exceso o diferencia de pesos en el terreno por la nieve, dada la ausencia de esta, pero si han podido ser provocados por la nieve restante, el cambio a líquido de esta por el calor o por inestabilidades de las rocas por causas naturales o humanas. Sin olvidar también las pendientes, ya que estas afectan con o sin nieve. Especialmente, también se debe considerar las consecuencias a lo largo de los años del cambio climático, sobre todo en estos últimos años.

Aun así, es importante resaltar que, en épocas invernales, refiriéndonos a las tormentas de principios de año, como es el caso de dos de los ejemplos analizados, todos los aspectos comentados que afectan a la nieve pueden haber tenido su parte de responsabilidad, además de factores humanos. Al ser la época del año y las zonas con más probabilidades de aludes por pendiente o tipo de roca, hay avisos para evitar la presencia humana en esas zonas y así prevenir accidentes, aunque, obviamente también es época de deportes de invierno donde estas condiciones peligrosas, si están controladas, son disfrutadas por los usuarios.

Como aspecto destacable, el cálculo y descarga de las imágenes satelitales por medio del Google Earth Engine. Aunque ha sido mi primer contacto con el software, se ha podido comprobar lo rápido que se puede llegar a calcular y ver los resultados, sin necesidad de descarga. La creación de máscaras al momento o 'borrar' las nubes inmediatamente sin necesidad de usar otros procesos más manuales como hubiesen sido en ENVI o en QGIS. Porque, aunque esto se haya realizado con dos imágenes, una de un año distinto, no cabe duda la capacidad para poder analizar mayores rangos de fechas y así obtener análisis más completos.

Al comenzar el proyecto, se decidió el uso del NDSI como elemento fundamental para la comparación, sin tener en cuenta la época de las imágenes a utilizar. Pero una vez estas definidas las fechas teniendo en cuenta accidentes pasados, se pudo observar cómo este índice no era viable, por lo que también se utilizó el NDWI como opción, dado que, al detectar agua, dependiendo de la zona y de la estación del año, se podía reconocer donde podría o no estar la nieve, con las características geomorfológicas.

En este proyecto se han obtenido los datos satelitales de diferentes formas para valorar la eficacia de este tipo de análisis. Se ha utilizado la metodología aprendida durante las asignaturas de grado y se ha añadido el uso de Google Earth Engine.

Dado que, dependiendo del satélite usado en la plataforma, el cálculo es distinto, se decidió usar solo Sentinel-2, pero se podrían haber usado otros satélites, ya que tiene 40 años de imágenes satelitales (como se mencionó anteriormente en otro apartado). Una de las características de usar Sentinel-2 es, por ejemplo, poder eliminar las nubes de una manera óptima, aunque no tan sencillo cómo Landsat, por las mismas características del satélite y la banda Q. Por lo que, para la imagen usada del 2004, al

ser más antigua, muchos de los satélites que se usan ahora con mayor calidad y más bandas, no estaban todavía, por lo que se ha hecho uso de MODIS.

Con todo esto, se puede concluir que, aunque los aludes son inevitables, hay zonas más propensas que se pueden conocer, especialmente en épocas invernales. Pero en épocas estivales, también se pueden producir. Estos fenómenos, con la rapidez con la que avanza el cambio climático, podrían ser más frecuentes si se llegan a producir más tormentas. Teniendo en cuenta lo ocurrido el año pasado, se prevé que lo más probable es que estas tormentas sean más fuertes y/o más largas. Un ejemplo claro es la tormenta DANA, la cual es cada vez más frecuente y afecta, entre otros lugares, el sur de Europa (Cristina Crespo Garay 2021).

Para acabar, por si se llegase a estar en peligro de aludes se debería actuar tal y como indica la Dirección General de Protección Civil (la siguiente tabla), evitar zonas peligrosas y estar atentos a los boletines de información que crea la AEMET cada año por las fechas más propensas.

Tabla 5: Pasos a seguir si uno se encuentra en un alud. Fuente: Elaboración propia.

Pasos a seguir si uno se encuentra en un alud
Intentar escapar por un lado antes de ser atrapado
Si se encuentra con equipo de nieve, quitárselo y permanecer en la superficie con movimientos natatorios
Intentar evitar la introducción de nieve en boca y nariz
Colocarse como una 'bola' intentando crear una cámara de aire delante de la cara empujando el brazo hacia la superficie
Si no se encuentra sepultado, comenzar su búsqueda inmediata
Solicitar ayuda

10. PRESUPUESTO

La información necesaria para el cálculo del presupuesto ha sido obtenida del BOE Convenio de Ingenieros y Oficinas técnicas del año 2020.

Tabla 6: Tabla Presupuesto Personal – Propio

Personal	Salario Base	Salario Bruto	Plus por convenio	Sueldo Bruto Anual	Seguridad Social
Ingeniero/a en Geomática	1.291,04 €	18.074,56 €	2.349,69 €	20.424,25 €	8.169,70 €

Tabla 7: Tabla Presupuesto Personal Diario – Propio

Coste Total Empresa	Coste X Día de Trabajo
28.593,95 €	129,97 €

Tabla 8: Tabla de Presupuesto Materiales – Propio

Material	Licencia	Uso en Proyecto
QGIS	Gratuita	2 días
Google Earth Engine	Gratuita	1 mes

Tabla 9: Tabla Presupuesto Actividades y Total - Propio

Actividades	Duración en horas	Recursos Humanos	Coste de Recursos Humanos	Medios Materiales	Coste Materiales	Total
Geomorfología						
Búsqueda de información relacionada con aludes, especialmente en los Picos de Europa	40 horas	Ing. Geomática	216,62 €	Google Scholar y Biblioteca de la UPV	0 €	259,94 €
Estudio de lo encontrado		Ing. Geomática			0 €	
Busqueda de accidentes ocurridos por aludes en los Picos de Europa	8 horas	Ing. Geomática	43,32 €	Research Gate	0 €	
Busqueda de las rutas donde ocurrieron los accidentes escogidos para el análisis		Ing. Geomática		Buscadores	0 €	
Análisis geomorfológico		Ing. Geomática			0 €	
Teledetección						
Aprendizaje del uso de Google Earth Engine	40 horas	Ing. Geomática	216,62 €	Google Earth Engine y Sentinel Hub EO Browser	0 €	254,52 €
Aplicación de Google Earth Engine para dos fechas de estudio		Ing. Geomática			0 €	
Descarga de las imágenes y las bandas necesarias para el resto de las fechas desde Sentinel Hub EO Browser		Ing. Geomática			0 €	
Descarga de los resultados de Google Earth Engine		Ing. Geomática			0 €	
Aplicación de los índices utilizados a las imágenes descargadas del Hub en QGIS mediante la calculadora ráster	7 horas	Ing. Geomática	37,91 €	QGIS	0 €	
Creación de los mapas necesarios		Ing. Geomática			0 €	
Análisis de los resultados		Ing. Geomática			0 €	
SIG						
Descarga del centro de descargas del IGN los datos necesarios	8 horas	Ing. Geomática	43,32 €	Centro de Descargas del IGN	0 €	43,32 €
Creación del mapa de pendientes y orientación		Ing. Geomática		QGIS	0 €	
Análisis final		Ing. Geomática			0 €	
TOTAL						557,79 €

11. BIBLIOGRAFÍA

- Delegaciones Territoriales en Aragón y Cataluña (2015).
<https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Guiaidealudes_es/La_guia_de_aludes_2015_es.pdf>
[Consulta: 13 julio de 2022]
- P. HÄGELI, D.M. MCCLUNG 2003. "Avalanche characteristics of a transitional snow climate – Columbia Mountains, British Columbia, Canada" en *Cold Regions Science and Technology*, vol. 37, p. 255-276
- JÜRIG SCHWEIZER, J. BRUCE JAMIESON AND MARTIN SCHNEEBELI 2003. "Snow Avalanche Formation" en *Reviews of Geophysics*, vol. 41, issue 4.
- THOMAS FEISTL (2015). *Vegetation effects on avalanche dynamics*. Trabajo de Fin de Grado. München: Universität München.
- Avalancha. <<https://www.significados.com/avalancha/>> [Consulta: 14 de agosto de 2022]
- Parque Nacional Picos de Europa. <<https://parquenacionalpicoseuropa.es/el-parque/gestion-del-parque-nacional/cambio-global/>> [Consulta: 14 de agosto de 2022]
- SciELO. Cambio global: una mirada desde la biología.
<https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-73482019000100009>
[Consulta: 14 de agosto de 2022]
- Boletín de peligro de aludes AEMET.
<https://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/prediccion/montana/boletin_peligro_aludes/BPA_PN_Picos_Europa.pdf> [Consulta: 14 de agosto de 2022]
- Dirección General de Protección Civil y Emergencias.
<<https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/gestion-riesgos/geologicos/aludes>>
[Consulta: 14 de agosto de 2022]
- RTVE, 2021. Nevadas históricas obligan a cortar carreteras y suspender trenes. [en línea]. En RTVE a 8 de enero. <<https://www.rtve.es/play/videos/el-tiempo/nevadas-historicas-obligan-cortar-carreteras-suspender-trenes/5755898/>> [Consulta: 16 de agosto del 2022]
- RTVE, 2018. El temporal de nieve, lluvia y viento pone en alerta a 40 provincias. En RTVE a 28 de febrero. <<https://www.rtve.es/play/videos/noticias-24-horas/temporal-nieve-lluvia-viento-pone-alerta-40-provincias/4497298/>> [Consulta: 16 de agosto de 2022]
- NIUS, 2022. Riesgo de aludes, nieve y frío ártico el fin de semana por la 'supervaguada' que atraviesa España. En NIUS a 1 de abril. <https://www.niusdiario.es/sociedad/el-tiempo/riesgo-aludes-nieve-frio-prevision-fin-de-semana_18_3307245906.html>
[Consulta: 16 de agosto de 2022]
- 20minutos. 2022. *Riesgo de aludes, carreteras cortadas, granizo... España ya sufre los estragos 'polares' de la borrasca 'Ciril'*. En 20minutos a 1 de marzo.
<<https://www.20minutos.es/noticia/4979672/0/incidentes-borrasca-ciril-nieve-granizo/>>
[Consulta: 16 de agosto de 2022]

El País, 2021. *El temporal de nieve y lluvia afecta a al menos 83 carreteras. En El País a 8 de diciembre.* <<https://elpais.com/espana/2021-12-08/un-total-de-25-provincias-en-alerta-por-viento-aludes-olas-y-nieve.html>> [Consulta: 16 de agosto de 2022]

RTVE, 2021. Noticias. Un temporal pone en alerta el norte peninsular y la DGT pide precaución en las carreteras por la nieve. En RTVE a 5 de diciembre. <<https://www.rtve.es/noticias/20211205/alerta-cantabria-navarra-pirineos-litoral-gallego-intensas-lluvias-nieve-viento/2236864.shtml>> [Consulta: 16 de agosto de 2022]

El País, 2022. Avalanchas de nieve, la última gran incógnita. En el País a 27 de febrero. <<https://elpais.com/deportes/2022-02-27/avalanchas-la-ultima-gran-incognita.html>> [Consulta: 16 de agosto de 2022]

J.A. VADA, MANUEL FROCHOSO, JOAN MANUEL VILAPLANA. (2012). *Evaluación y cartografía del riesgo de aludes en el camino PR-PNPE 21 de acceso a la Vega de Urriellu, Picos de Europa (Noroeste de España)* (2012). Cantabria: Universidad de Cantabria, Santander.

RTVE ESPAÑA DIRECTO, "Así se mide el riesgo de aludes". RTVE <<https://www.rtve.es/play/videos/espana-directo/asi-se-mide-riesgo-aludes/3506600/>> [Consulta: 16 de agosto de 2022]

ODÓN HERNÁNDEZ HOLGADO. (2014). *Nota técnica 15 de AEMET. Una aproximación a la nivología en los Picos de Europa.* AEMET.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (2016). "Picos de Europa". Picos de Europa: Cantabria, Asturias y Castilla y León. <<https://www.miteco.gob.es/es/red-parques-nacionales/nuestros-parques/picos-europa/ficha-tecnica/default.aspx>> [Consulta: 16 de agosto de 2022]

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (2016). *Ficha técnica. Picos de Europa.* [Consulta: 16 de agosto de 2022]

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. CENTRO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (2016). "Teledetección" <<https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>> [Consulta: 16 de agosto de 2022]

ALEXEY N SHIKLOMANOV, BETHANY A BRADLEY, KYLA M DAHLIN, ANDREW M FOX, CHRISTOPHER M GOUGH, FORREST M HOFFMAN, ELISABETH M MIDDLETON, SHAWN P SERBIN, LUKE SMALLMAN, WILLIAM K SMITH. (2019) "Enhancing global change experiments through integration of remote-sensing techniques" en *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 17, issue: 4 p. 215-224.

ESRI. *What is GIS?* (2022). <<https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>> [Consulta: 16 de agosto de 2022]

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. (2012). *Guías Geológicas de Parques Nacionales. Parque Nacional de los Picos de Europa. Guía Geológica.* España: Madrid.

JULIA RODRÍGUEZ. (2015). "Paleozoico superior". <<https://prezi.com/oocrdd7kwitn/paleozoico-superior/>> [Consulta: 17 de agosto de 2022]

El Periódico. (2015). Seis excursionistas heridos por una avalancha en Picos de Europa. El Periódico. 21 de julio.

EL COMERCIO (2015). *Cuatro de los scouts heridos en los Picos de Europa permanecen ingresados. España: Madrid.* <<https://www.elcomercio.es/asturias/201507/22/cinco-scouts-madrid-monitora-20150722001708-v.html>> [Consulta: 17 de agosto de 2022]

CASO ABIERTO (2018). *Dos montañeros, heridos por un alud de nieve en el Valle de las Moñetas (Cabrales). España: Madrid.* <<https://www.lne.es/sucesos/2018/05/07/montaneros-heridos-alud-nieve-valle-18996500.html>> [Consulta: 17 de agosto de 2022]

LA VOZ DE ASTURIAS (2018). *Dos grandes aludes cierran la ruta del Cares. España: Asturias.* <<https://www.lavozdeasturias.es/noticia/comarcas/2018/02/10/dos-grandes-aludes-cierran-ruta-cares/00031518272615117566807.htm>> [Consulta: 17 de agosto de 2022]

DESNIVEL (2004). *Accidente mortal en Picos de Europa.* <<https://www.desnivel.com/alpinismo/accidente-mortal-en-picos-de-europa/>> [Consulta: 17 de agosto de 2022]

RADIOTELEVISIÓN DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS (2015). *Cinco menores y un adulto heridos en una avalancha en los Picos de Europa. España: Asturias.* <https://www.rtpa.es/noticias-sucesos:Cinco-menores-y-un-adulto-heridos-en-una-avalancha-en-los-Picos-de-Europa_111437498355.htm> [Consulta: 17 de agosto de 2022]

MONTSERRAT JIMÉNEZ, PEDRO FARIAS. (2006). "Geomorfología glaciar en la cordillera cantábrica (Noroeste de España: Algunos ejemplos)" en Dialnet, Vol. 13, N.º. 3, p. 259-269 <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2898666>> [Consulta: 18 de agosto de 2022]

LA REGIÓN DE MURCIA DIGITAL. (Unknown). "Las Rocas." España: Murcia. <https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=c,365,m,2012,a,293&r=ReP-8170-DETALLE_REPORTAJESABUELO> [Consulta: 18 de agosto de 2022]

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. *Picos de Europa: Itinerarios.* <<https://www.miteco.gob.es/es/red-parques-nacionales/nuestros-parques/picos-europa/guia-visitante/itinerarios.aspx>> [Consulta: 18 de agosto de 2022]

WIKILOOC. *PR PNPE 21 - Collado Pandébano - Vega de Urriellu.* <<https://es.wikiloc.com/rutas-senderismo/pr-pnpe-21-collado-pandebano-vega-de-urriellu-15276662>> [Consulta: 18 de agosto de 2022]

PARQUE NACIONAL PICOS DE EUROPA. *Cartografía y Tracks.* <<https://parquenacionalpicoseuropa.es/visitas/cartografia-y-tracks/>> [Consulta: 18 de agosto de 2022]

PROTECCIÓN CIVIL. *Comportamiento en caso de ser sorprendido por un alud* <<https://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum17/vdm008.htm#0808/>> [Consulta: 18 de agosto de 2022]

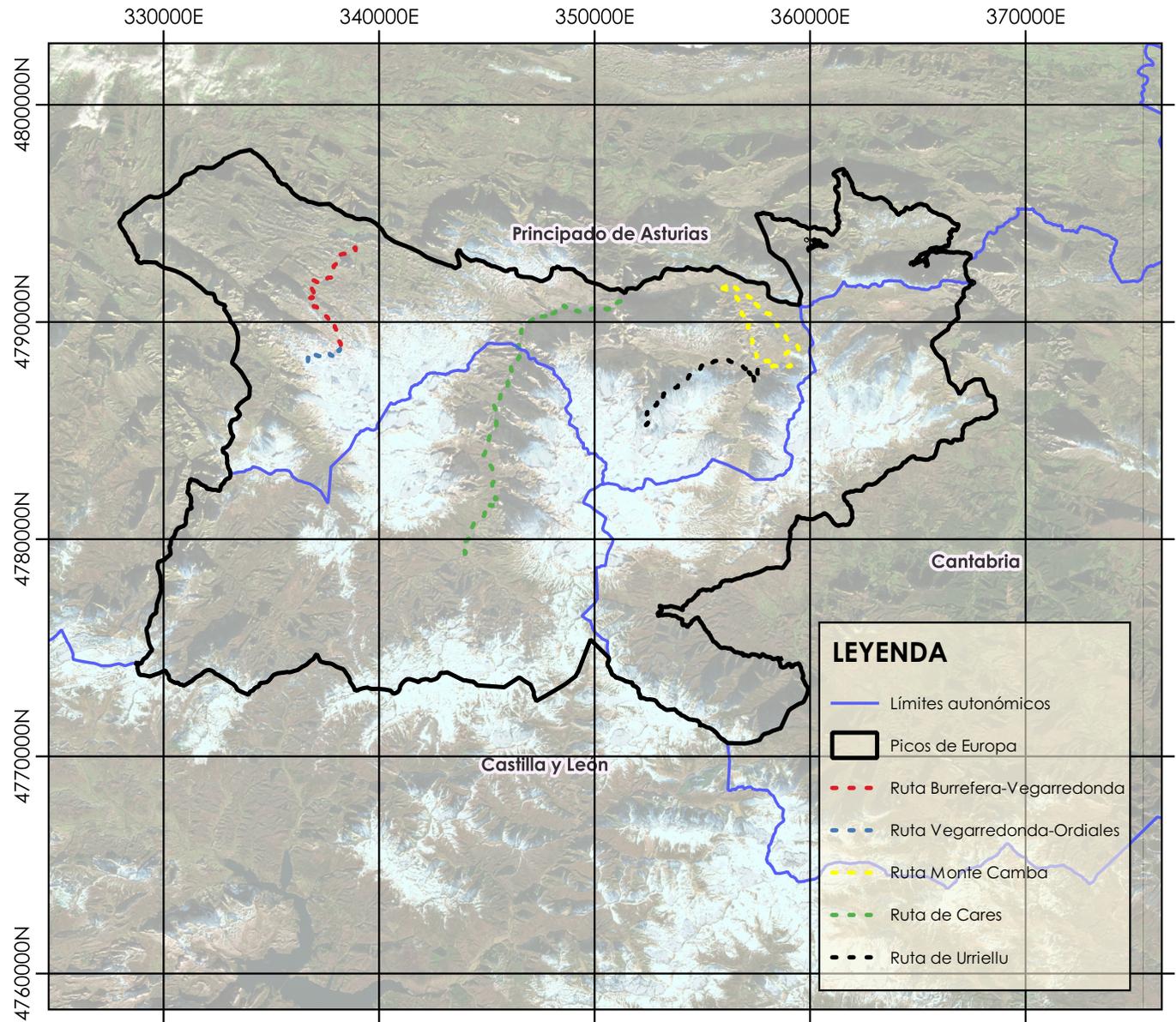
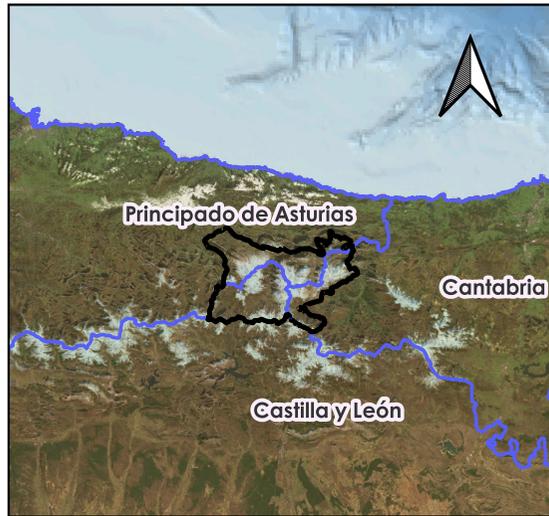
DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS. *Aludes.* <<https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/gestion-riesgos/geologicos/aludes/>> [Consulta: 18 de agosto de 2022]

D. GUTIÉRREZ RUBIO, J. RIESCO MARTÍN. (2013). *Breve guía descriptiva de los fenómenos meteorológicos recogidos en el Sistema de Notificación de Observaciones Atmosféricas Singulares (SINOBAS).* [Consulta: 18 de agosto de 2022]

CRISTINA CRESPO GARAY (2021). ¿Qué es una DANA y por qué es cada vez más frecuente en España? < <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2021/09/que-es-una-dana-y-por-que-es-cada-vez-mas-frecuente-en-espana>> [Consulta: 1 de septiembre del 2022]

12. ANEJOS

De acuerdo con el orden del apartado 7, además de otra información mencionada como la columna estratigráfica de los Picos de Europa y la explicación del talud continental.



LEYENDA

- Límites autonómicos
- Picos de Europa
- - - Ruta Burrefera-Vegarredonda
- - - Ruta Vegarredonda-Ordiales
- - - Ruta Monte Camba
- - - Ruta de Cares
- - - Ruta de Urriellu

MAPA DE SITUACIÓN DE LOS PICOS DE EUROPA

Autora: Ana Karolína Chajtur Bonanken

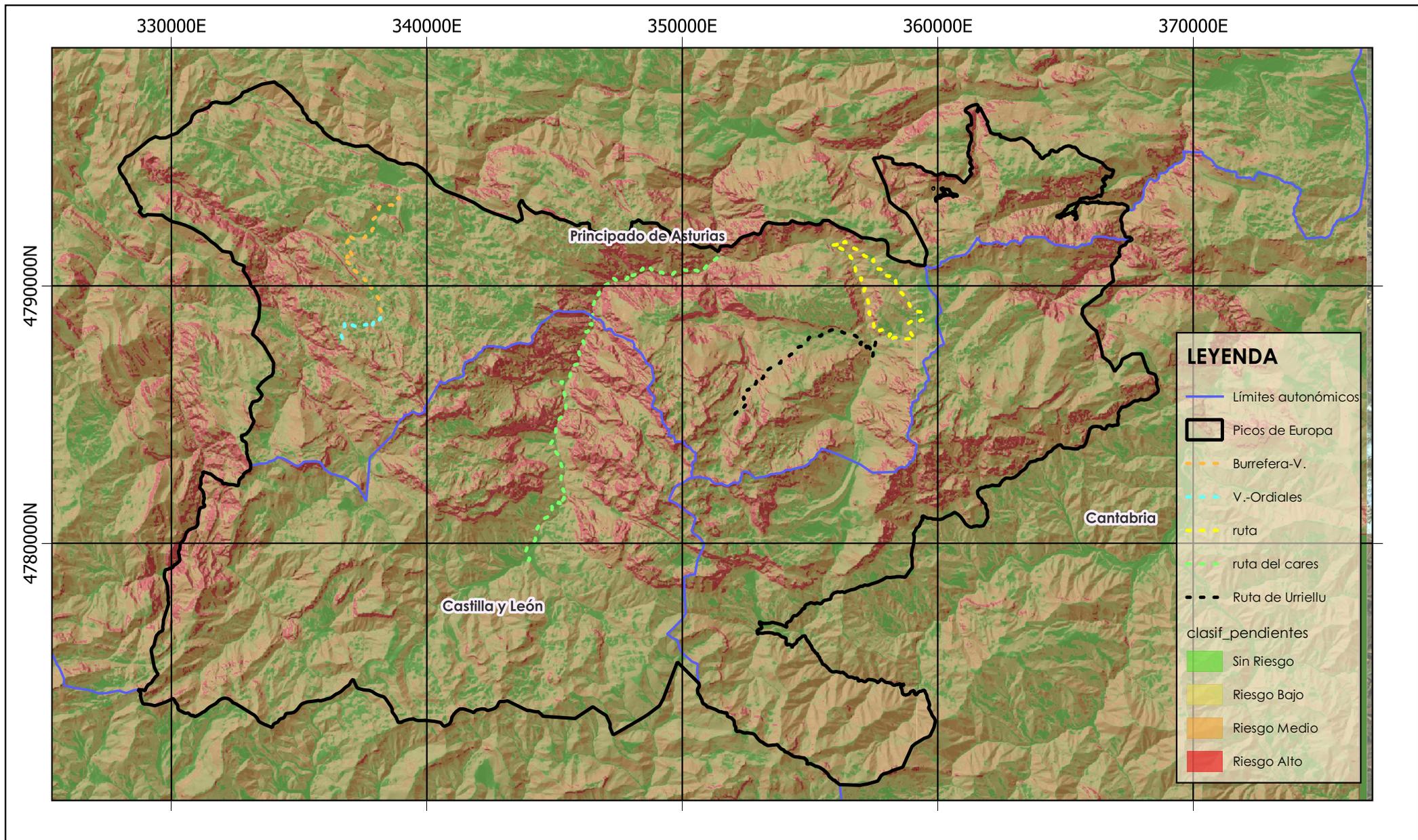


Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Septiembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección





LEYENDA

- Límites autonómicos
- Picos de Europa
- - - Burrefera-V.
- - - V.-Ordiales
- - - ruta
- - - ruta del cares
- - - Ruta de Urriellu

clasif_pendientes

- Sin Riesgo
- Riesgo Bajo
- Riesgo Medio
- Riesgo Alto


 UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA


 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

MAPA DE RIESGOS DE ALUDES SEGÚN CLASIFICACIÓN DE PENDIENTES EN LOS PICOS DE EUROPA

1:200.000

0 3 6 9 12 km



Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Septiembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

MAPA DE ZONAS PROPENSAS A ALUDES EN ESPAÑA

1:7.000.000

0 70 140 210 280 km

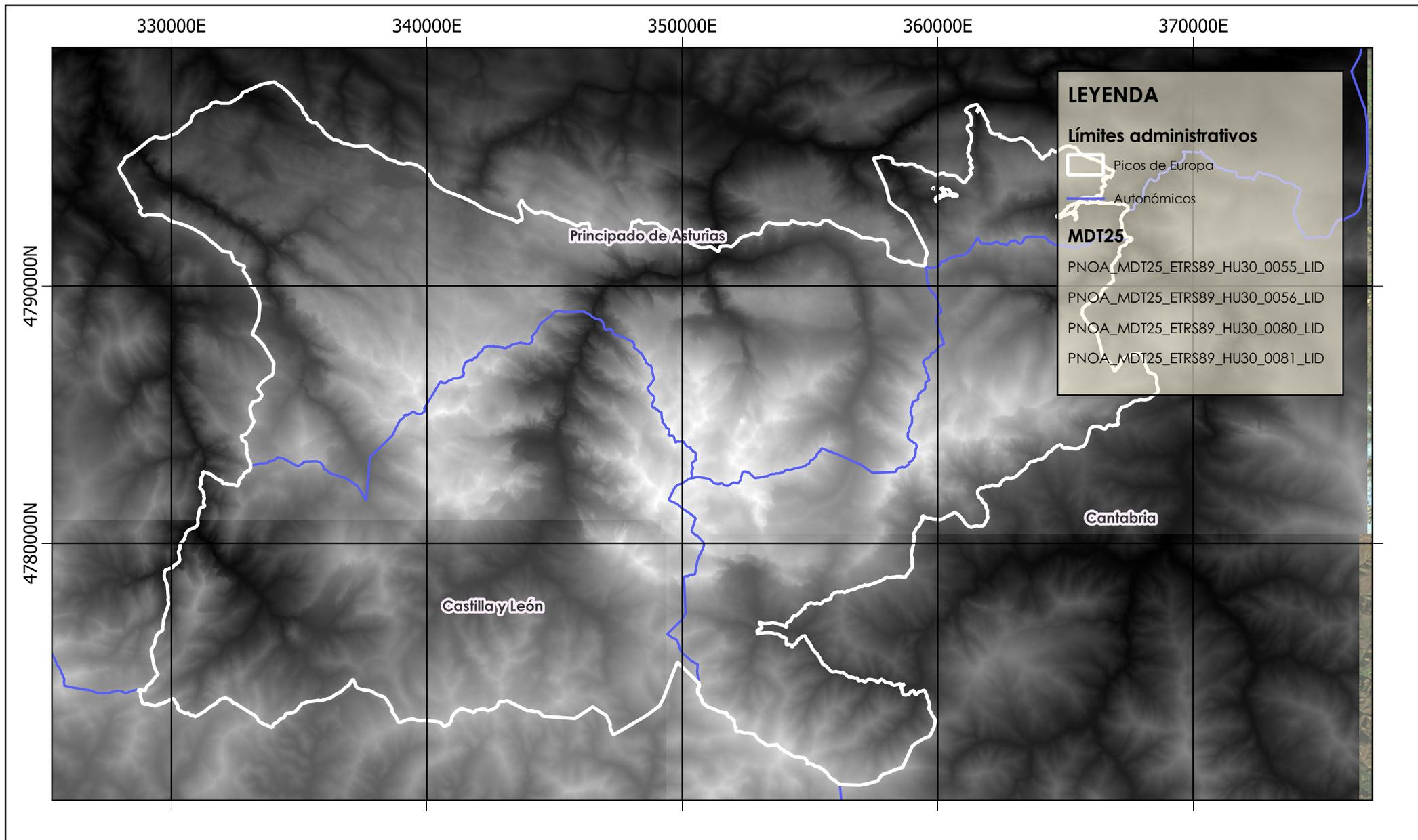


Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Septiembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken

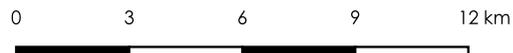



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

MAPA DE CAPAS DE MDT UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS SIG

1:200.000

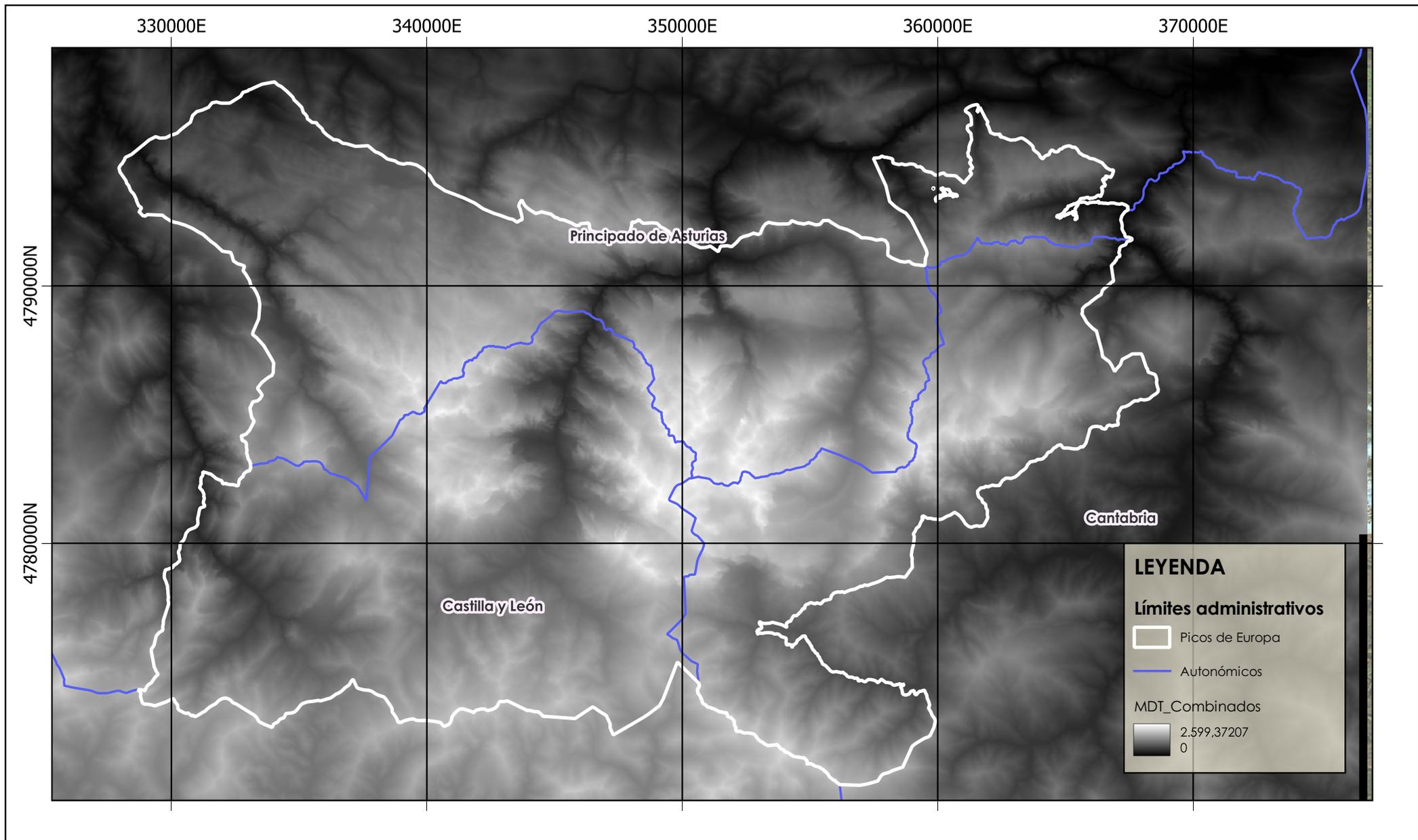


Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Septiembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken



MAPA DE MDT DE PICOS DE EUROPA

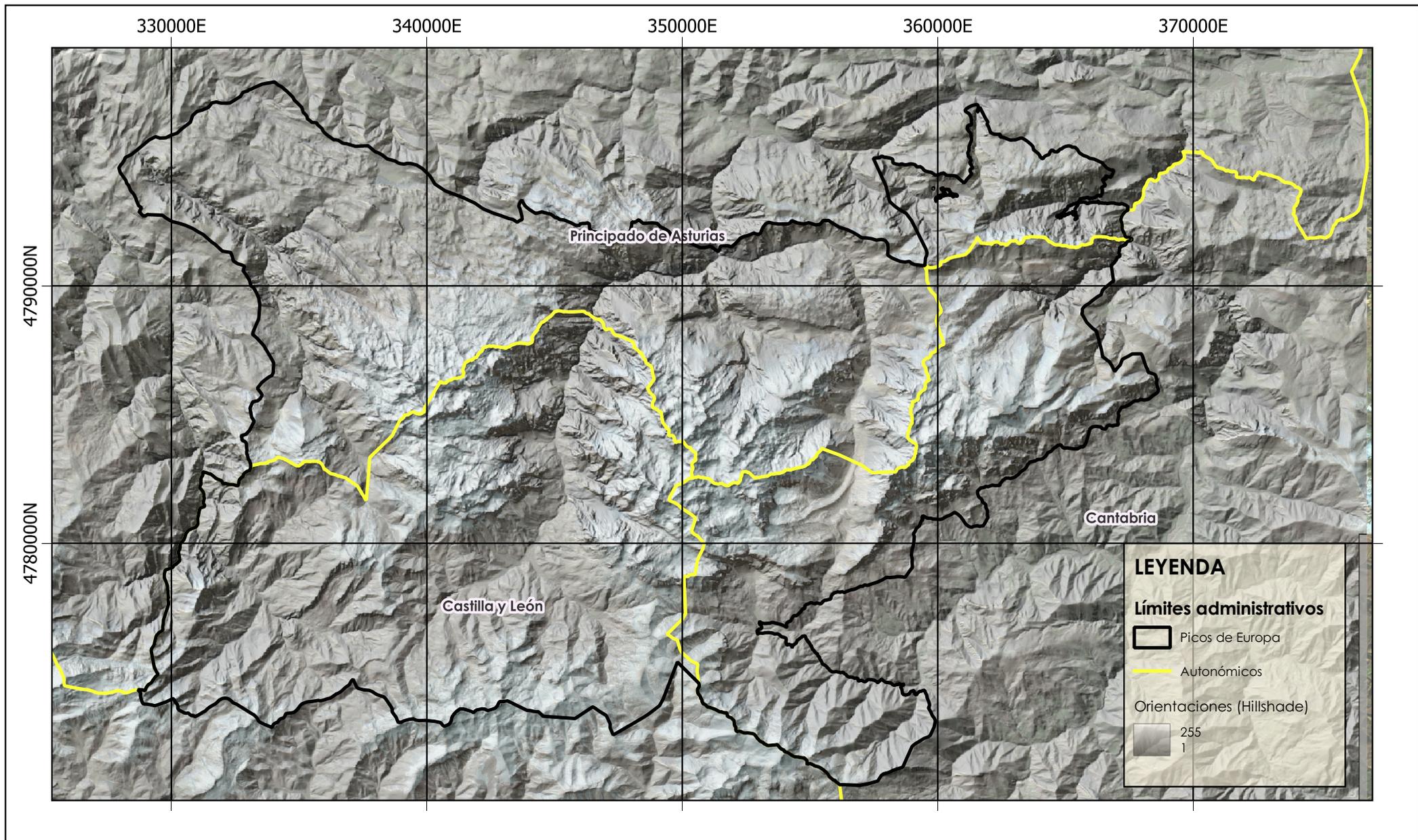


Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Septiembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken

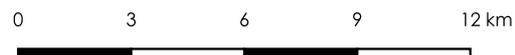



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

MAPA DE ORIENTACIONES (HILLSHADE) DE PICOS DE EUROPA

1:200.000

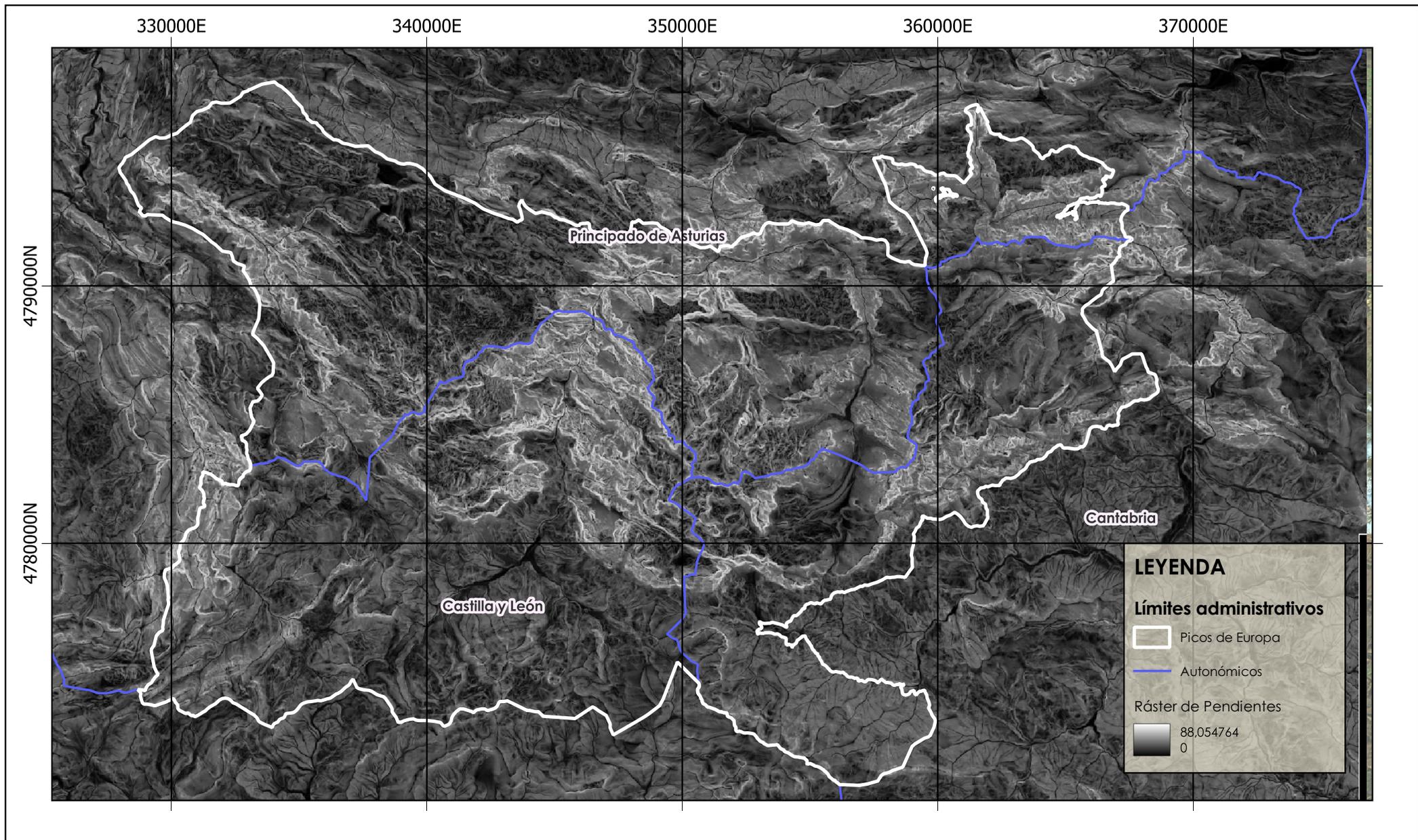


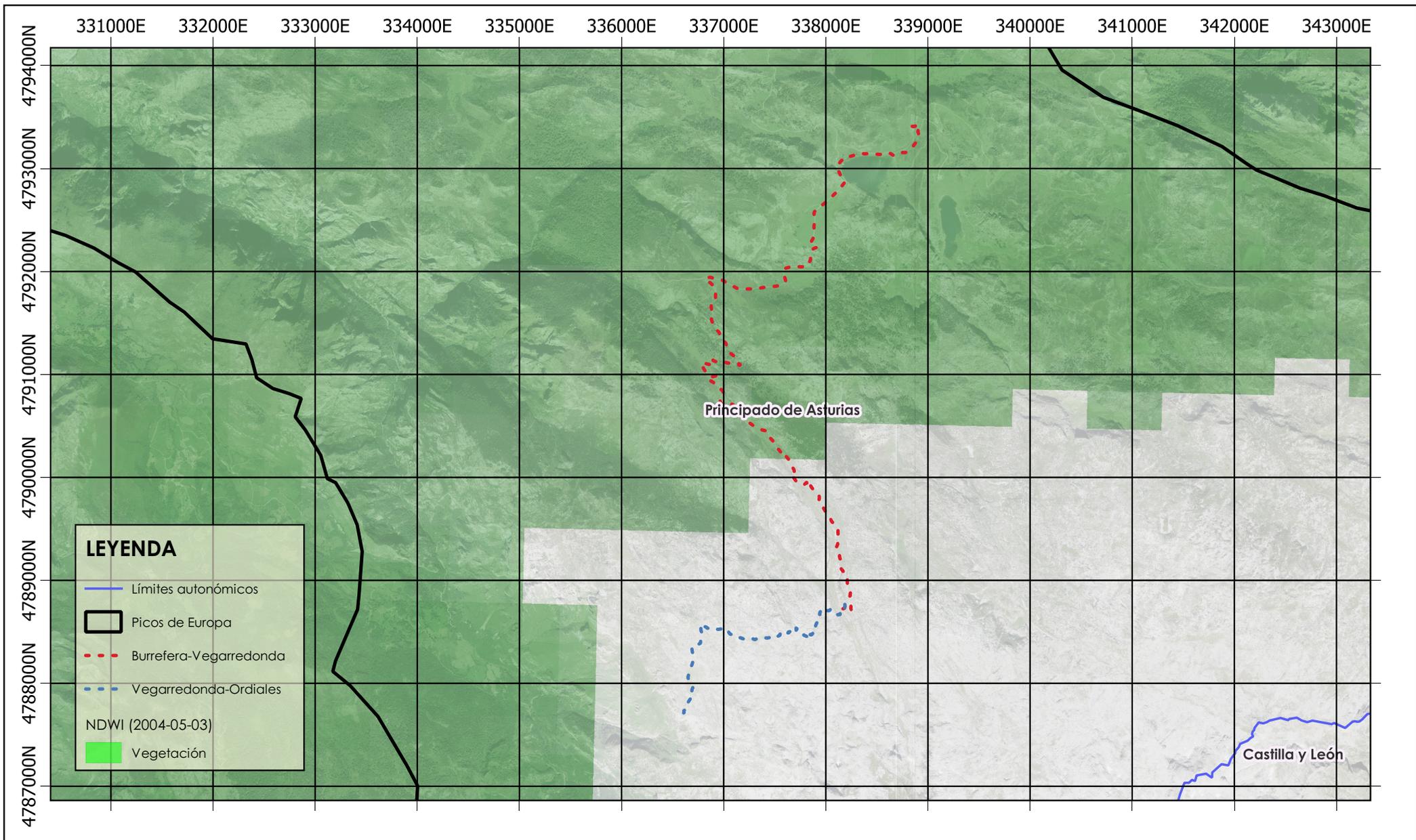
Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

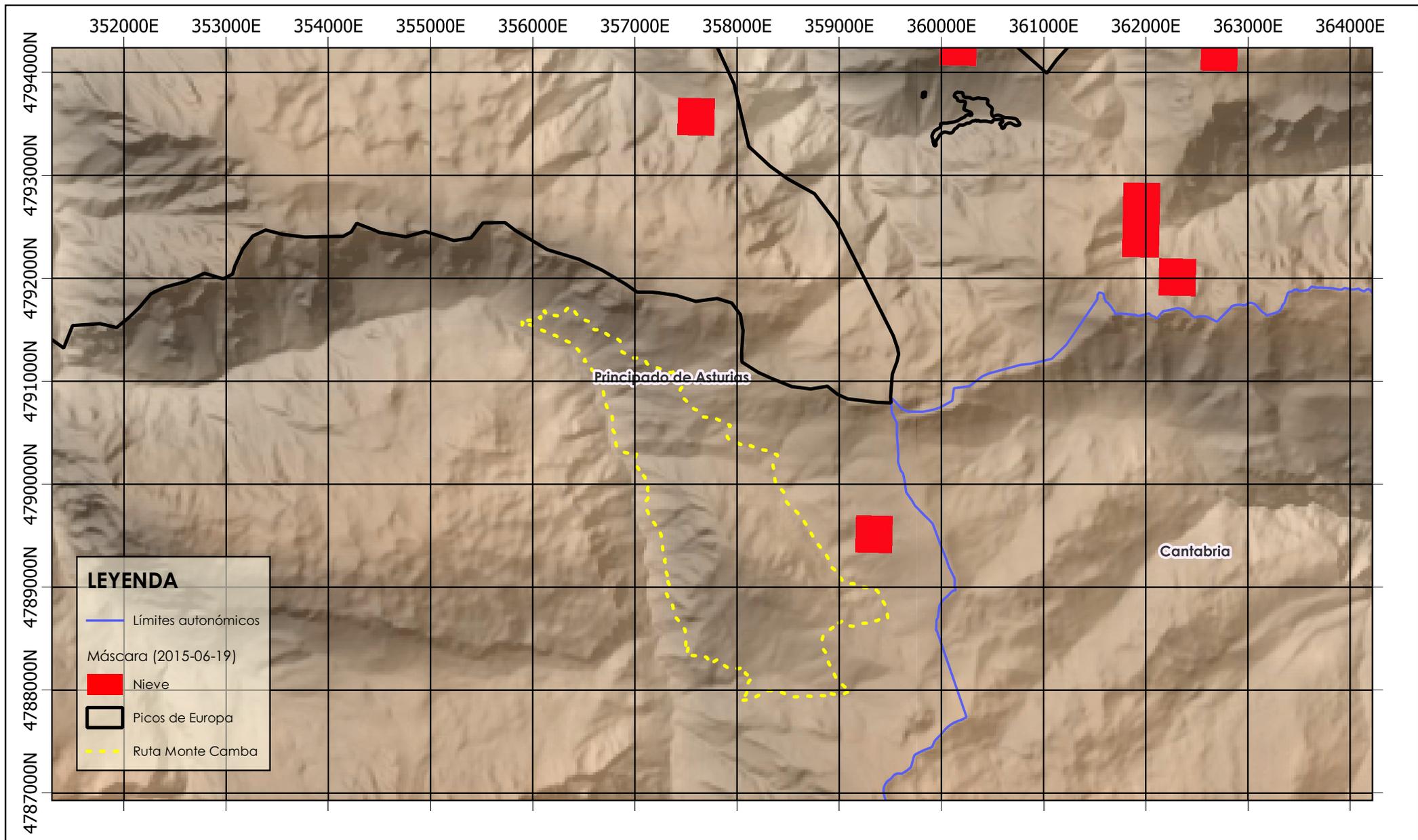
Fecha: Septiembre 2022

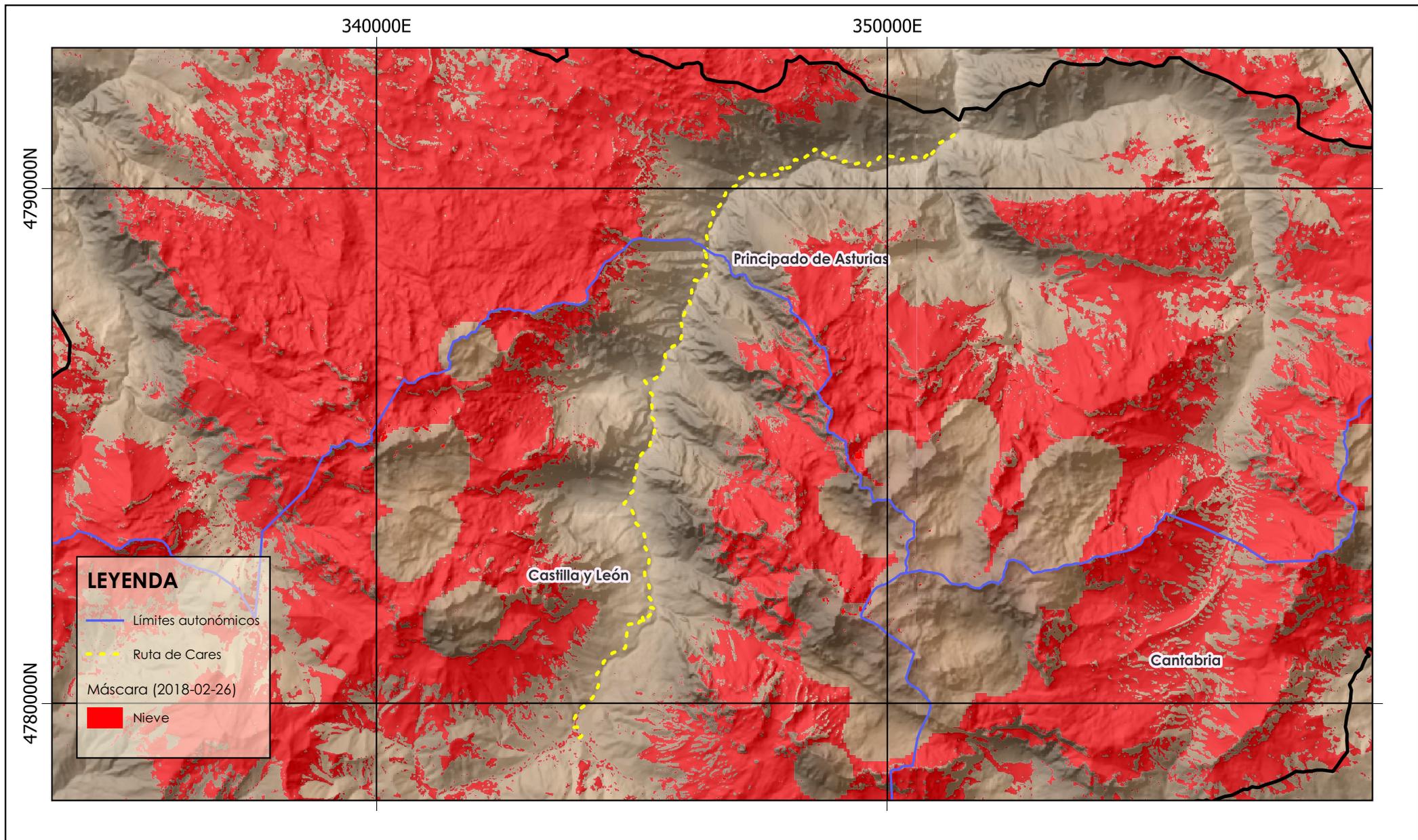
TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken









UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

**MAPA DE ZONAS CON NIEVE EN PICOS DE EUROPA
(RUTA PR-PNPE 3 DEL CARES) A FECHA DE 26 DE
FEBRERO DEL 2018**

1:100.000

0 1 2 3 km

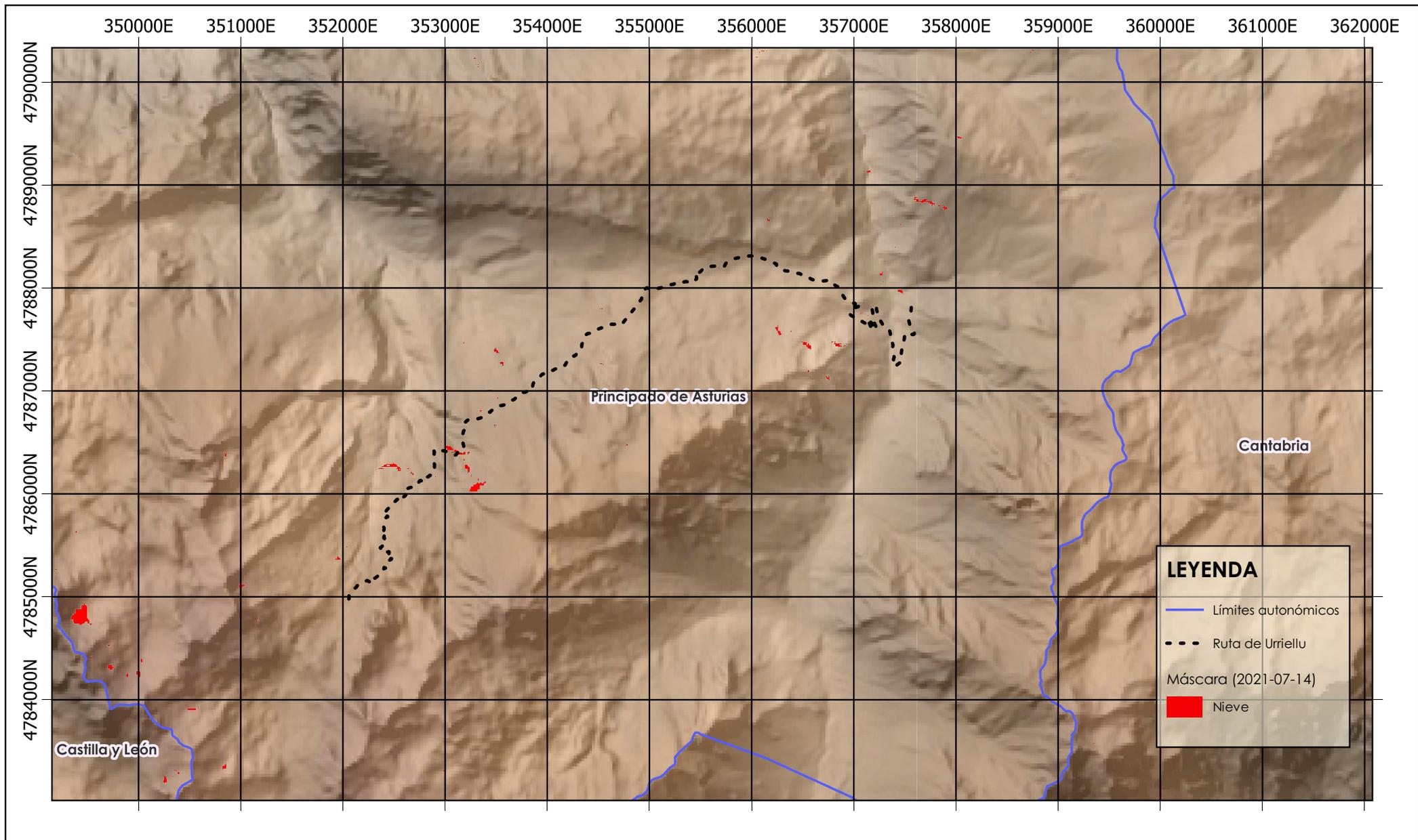


Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Septiembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

**MAPA DE ZONAS CON NIEVE EN PICOS DE EUROPA
(RUTA PR-PNPE 21 DE LA VEGA DE URRIELLU) A FECHA
DE 14 DE JULIO DEL 2021**

1:50.000

0 1 2 3 km

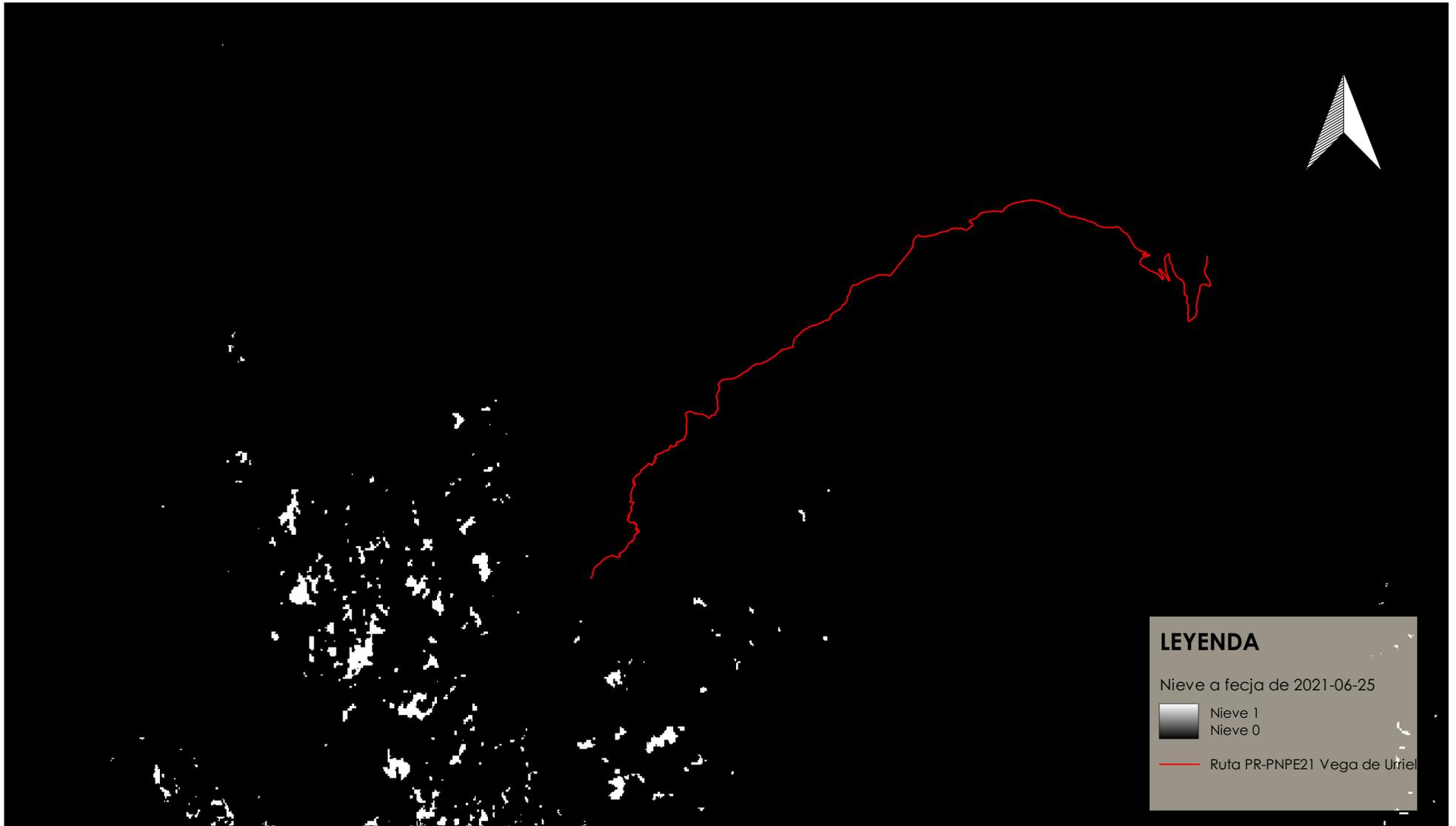


Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Septiembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

**MAPA DE MÁSCARA DE NIEVE EN LA RUTA DE URRIELLU
EL 25 JUNIO DEL 2021
1:50.000**

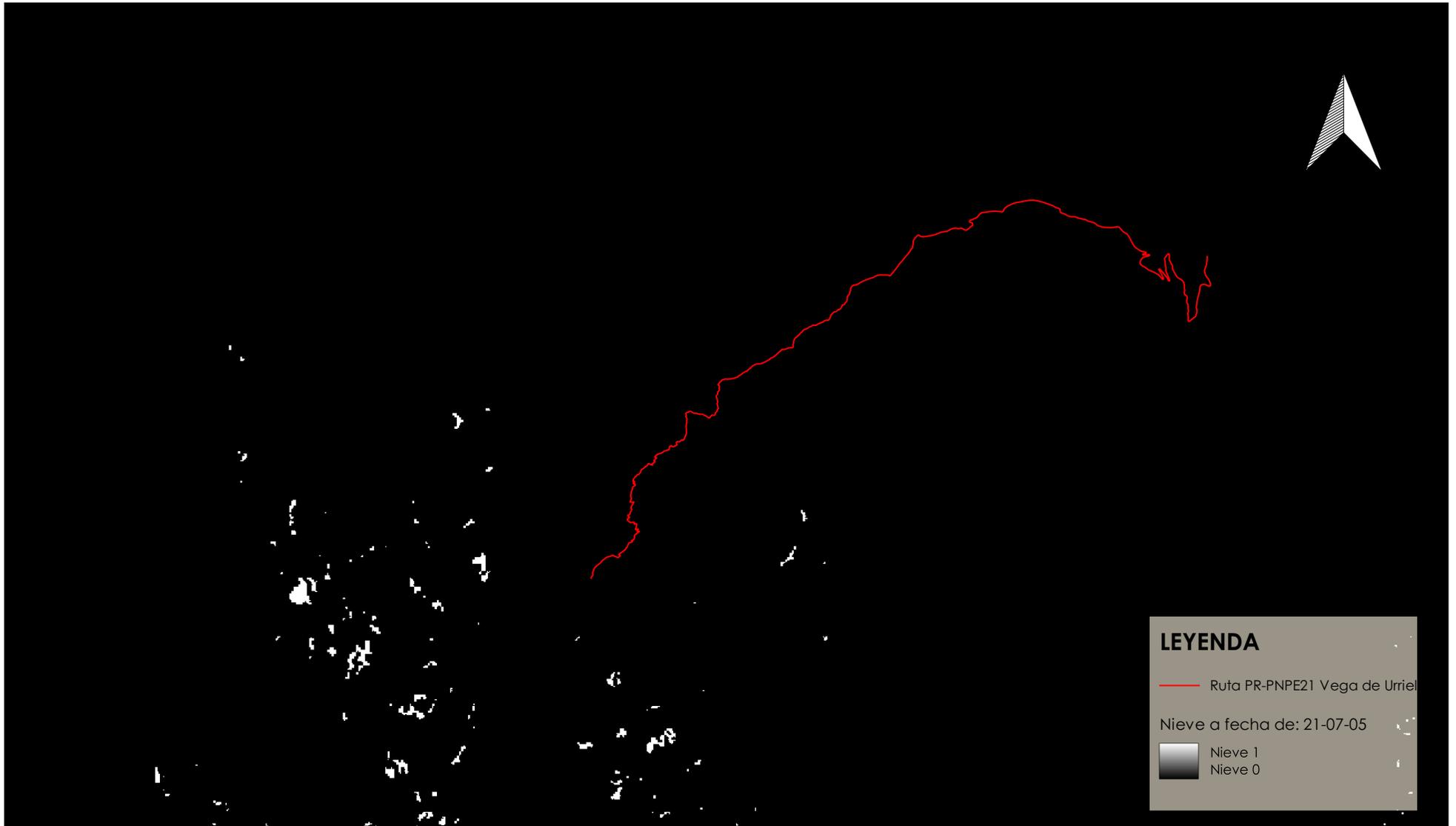


Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Noviembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken



LEYENDA

— Ruta PR-PNPE21 Vega de Urriellu

Nieve a fecha de: 21-07-05

 Nieve 1
 Nieve 0



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

**MAPA DE MÁSCARA DE NIEVE EN LA RUTA DE URRIELLU
EL 05 DE JULIO DEL 2021**

1:50.000

0 1 2 3 4 km

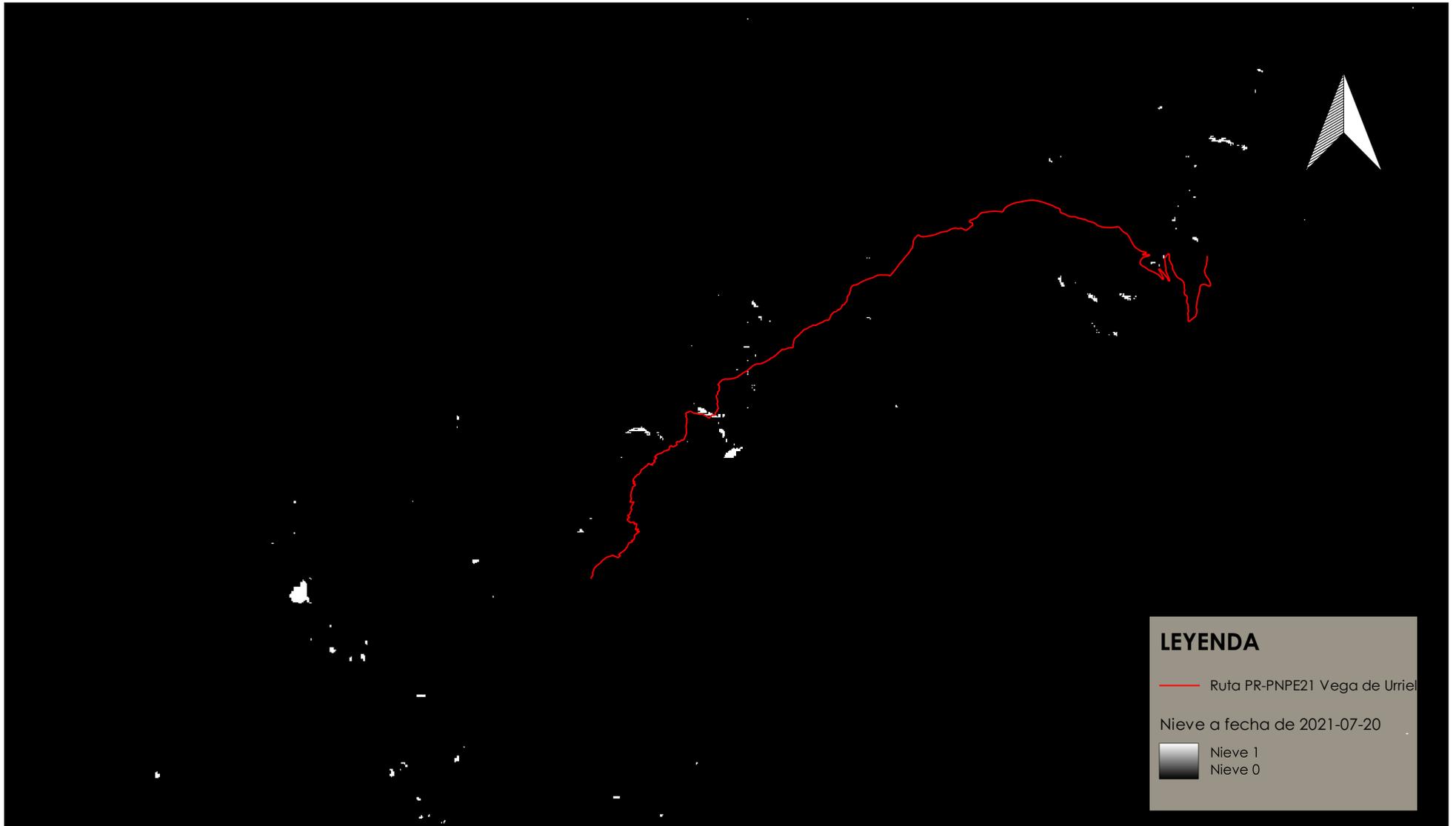


Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Noviembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken



LEYENDA

— Ruta PR-PNPE21 Vega de Urriellu

Nieve a fecha de 2021-07-20

■ Nieve 1
■ Nieve 0



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

**MAPA DE MÁSCARA DE NIEVE EN LA RUTA DE URRIELLU
EL 20 JULIO DEL 2021
1:50.000**

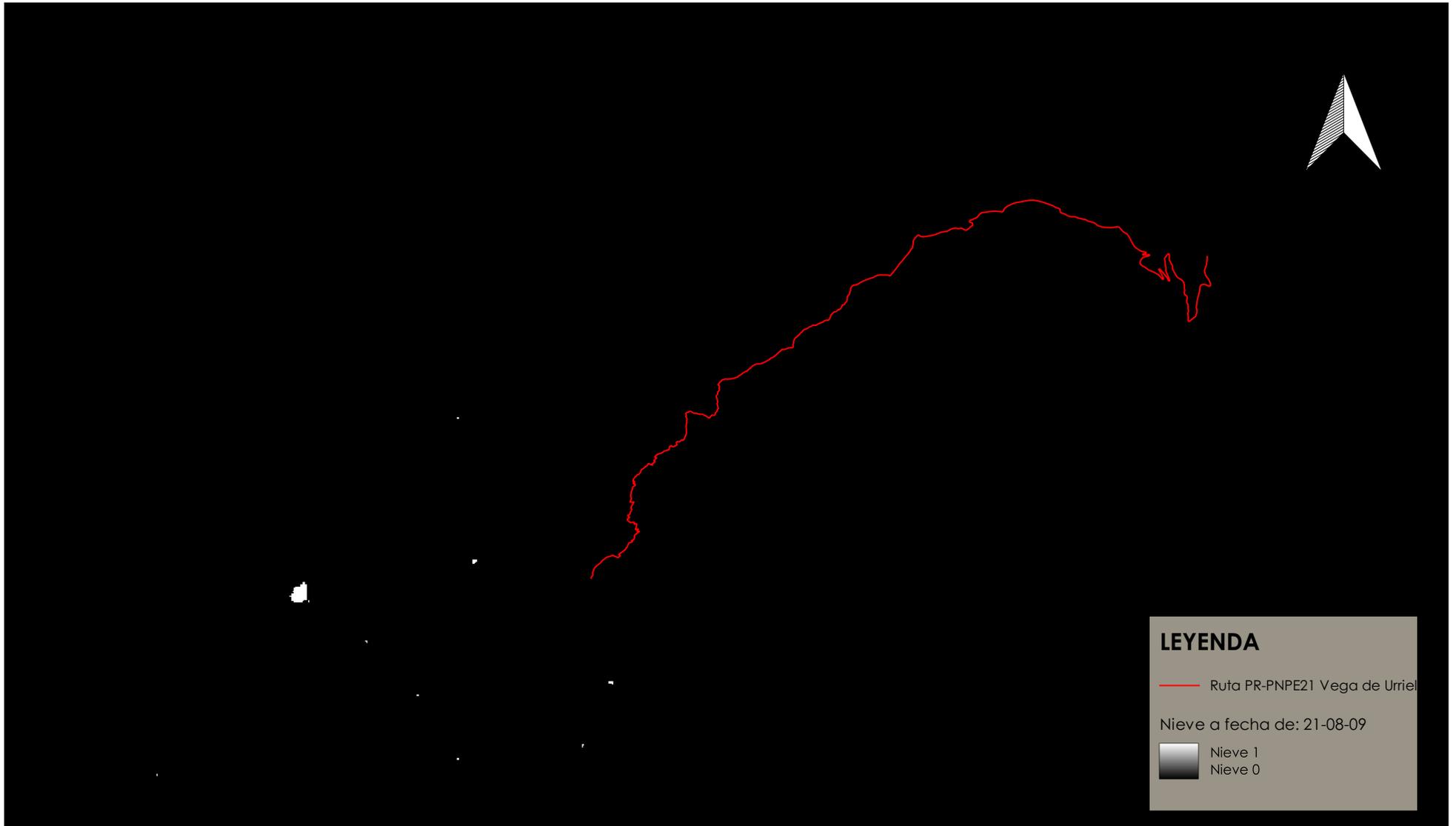


Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Noviembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

**MAPA DE MÁSCARA DE NIEVE EN LA RUTA DE URRIELLU
EL 09 DE AGOSTO DEL 2021**

1:50.000

0 1 2 3 4 km

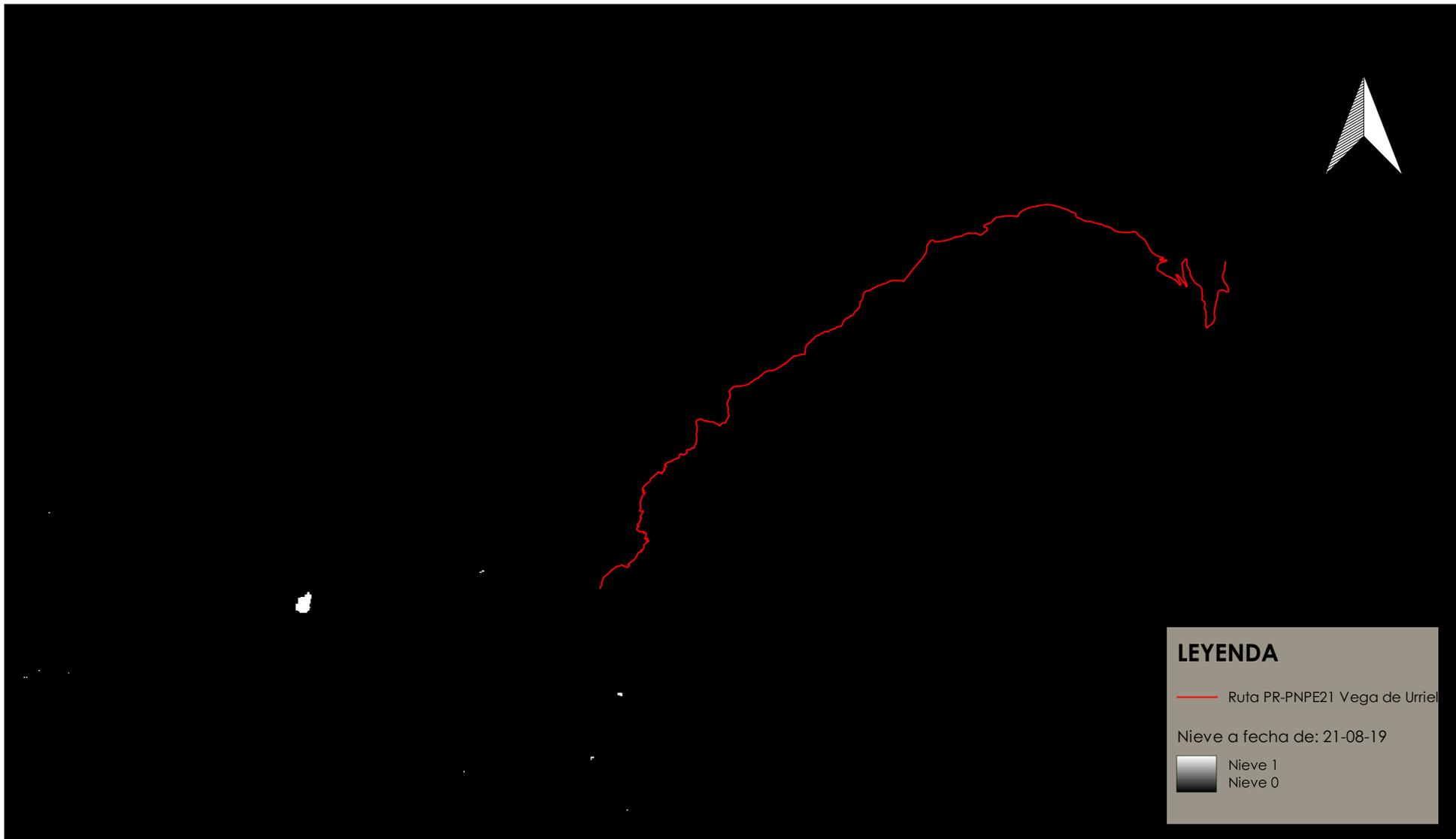


Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Noviembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken



LEYENDA

— Ruta PR-PNPE21 Vega de Urriellu

Nieve a fecha de: 21-08-19

■ Nieve 1
■ Nieve 0



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

**MAPA DE MÁSCARA DE NIEVE EN LA RUTA DE URRIELLU
EL 19 DE AGOSTO DEL 2021**

1:50.000



Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Noviembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

**MAPA DE LAS POBLACIONES QUE PUEDEN ESTAR
AFECTADAS, POR LOCALIZACIÓN, DE ALUDES EN LA
RUTA DE URRIELLU 1:30.000**

0 1 2 km



Sistema de referencia: wgs 84 | UTM Zone 30N, EPSG:32630

Fecha: Noviembre 2022

TFG: Análisis de la evolución de la cobertura de nieve y su riesgo de aludes en Picos de Europa (Asturias, Cantabria y Castilla y León) mediante técnicas de teledetección y SIG

Autora: Ana Karolina Chajtur Bonanken