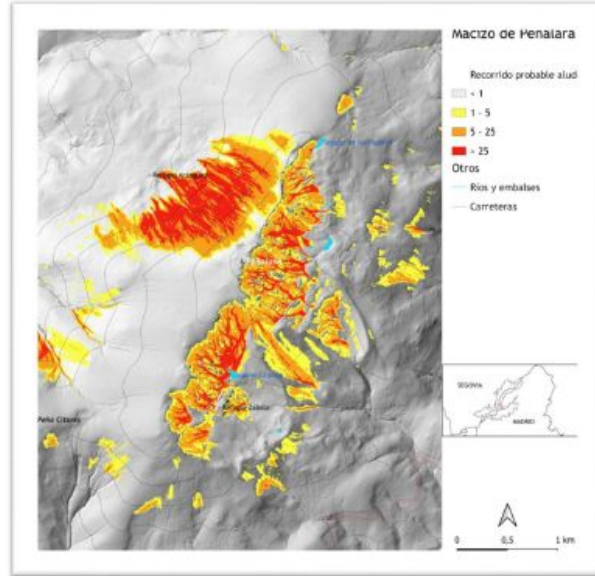


Modelización de zonas propensas a los aludes en la sierra de Guadarrama

A. Chazarra, J.A. Fernández-Cañadas, L. Pantoja, A. Pantoja

**XXXVII Jornadas de la Asociación Meteorológica Española
Málaga, 25-27 de febrero de 2026**

CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS SUSCEPTIBLES A ALUDES EN LA SIERRA DE GUADARRAMA MEDIANTE EL MODELO *GRAVITATIONAL PROCESS PATH*



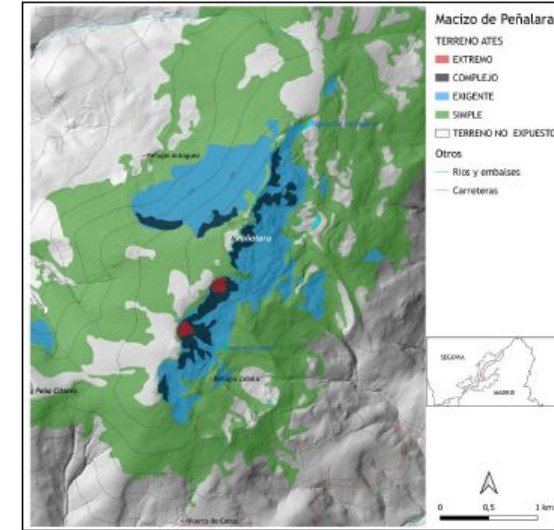
Nota técnica 43 de AEMET
Versión 1.0

Andrés CHAZARRA BERNABÉ
Juan Antonio FERNÁNDEZ-CAÑADAS LÓPEZ PELÁEZ
Luis PANTOJA TRIGUEROS
Alberto PANTOJA DORDA



Madrid, 2025

MAPA DE CLASIFICACIÓN DEL TERRENO POR EXPOSICIÓN AL PELIGRO DE ALUDES (ATES) DE LA SIERRA DE GUADARRAMA



Nota técnica 44 de AEMET
Versión 1.0

Alberto PANTOJA DORDA
Luis PANTOJA TRIGUEROS
Juan Antonio FERNÁNDEZ-CAÑADAS LÓPEZ PELÁEZ
Andrés CHAZARRA BERNABÉ



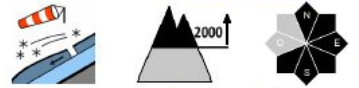




Madrid, 2025


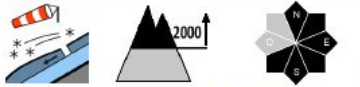

jueves, 12 de febrero de 2026 (corrección)

Pronóstico para el viernes, día 13


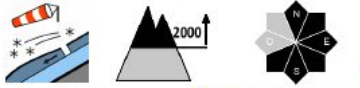

(Válido fuera de pistas de esquí balizadas y abiertas)

ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE PELIGRO EN LA ESCALA EUROPEA	Limitado (Débil)	
Distribución	Problemas de aludes, cota, orientación, tamaño	Innivación observada (m)
	Placas de viento 	2026-02-11 
	Nieve reciente 	

Avance para el sábado, día 14

Peligro	Problemas de aludes, cota, orientación, tamaño
 Limitado	Placas de viento 
	Nieve reciente 

Avance para el domingo, día 15

Peligro	Problemas de aludes, cota, orientación, tamaño
 Limitado	Placas de viento 
	Nieve reciente 

NOTA: Este boletín se realiza con la información y datos disponibles hasta el momento de su emisión. Posteriormente, las condiciones pueden cambiar y no ajustarse a lo pronosticado. El usuario debe proceder con precaución y adecuar en todo momento su comportamiento a la realidad que efectivamente encuentre.

Estado del manto y observaciones recientes

Tras las nevadas del fin de semana pasado, se han sucedido tres días de continuas lluvias y temperaturas templadas anómalas para la época. Así, el manto se ha humidificado significativamente y los espesores han menguado a razón de unos 10-15 cm al día. Ayer se registraron 23 l/m2 en el Observatorio de Navacerrada y para hoy apenas se esperan algunas precipitaciones débiles y dispersas.

La cubierta del manto comienza a unos 1700-1800 metros, con espesores muy variables, de entre 20-40 cm a unos 1800 metros y de entre 80-150 cm en torno a los 2000 metros. En superficie pueden haber costras de poco grosor que se hundan. También se han visualizado algunas grietas de reptación.

En los sondeos se refleja un manto bastante estable, con perfiles de nieve isotermos y húmedos, que alternan capas de granos redondos de diferentes durezas con algunas de hielo. Los tests de compresión han resultado negativos o de difícil fractura, salvo uno en Arroyo Seco (N, 1950m) que ante esfuerzo moderado presentó fractura algo rugosa. Los tests de la pala han sido positivos ante esfuerzos entre moderados y difíciles.

Evolución del manto y peligro de aludes para el viernes, día 13

Problema de nieve reciente y placas de viento.

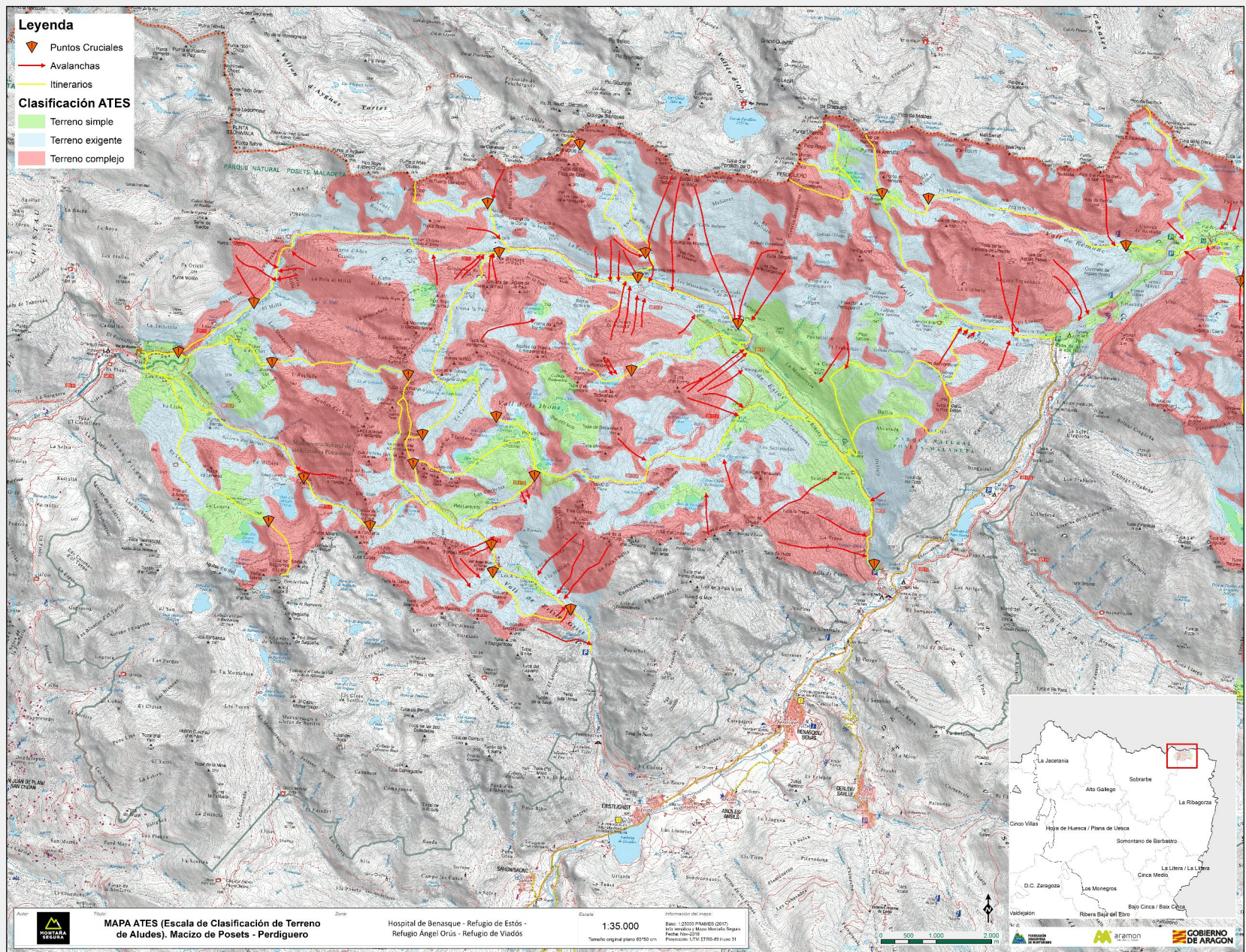
Mañana viernes se esperan nevadas que podrán ser persistentes y acumular entre 10-20 cm nuevos, localmente más en cotas altas. Serán probables algunas purgas de nieve reciente, especialmente en canales y pendientes con suficiente inclinación de todas las orientaciones. No se descarta que el peso de la nieve nueva pueda provocar la caída de alguna cornisa que arrastre mayor cantidad de nieve o provoque la rotura de una placa y desencadene un alud de tamaño 2 (mediano, capaz de enterrar a una persona).

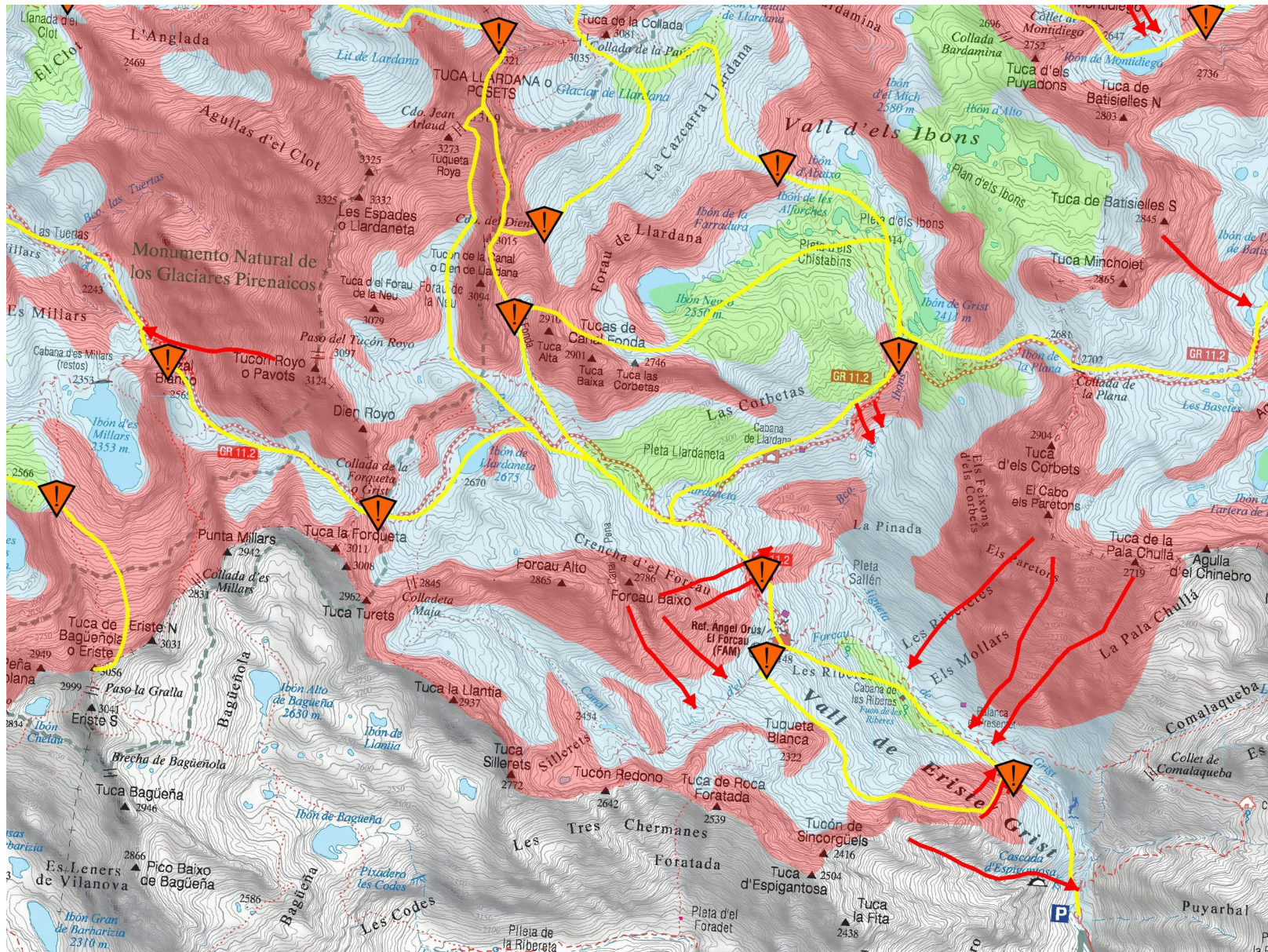
Las nevadas irán acompañadas de vientos fuertes y continuos de componente oeste que formarán placas de viento sobre todo en orientaciones norte, este y sur, que podrán acumular hasta tres veces más nieve en zonas a sotavento de crestas y cordales, zonas de cambio abrupto de la pendiente y concavidades. Se mantendrán blandas y podrán fracturar fácilmente ante una sobrecarga débil, como es el paso de un esquiador, provocando aludes de tamaño 1 o 2, especialmente en cotas altas.

Predicción meteorológica para el viernes, día 13

Muy nuboso o cubierto, con apertura ocasional de claros hacia el final del día. Visibilidad localmente reducida. Se esperan precipitaciones moderadas y localmente persistentes. Cota de nieve: bajando de 1800-2000 metros a unos 900-1000 a últimas horas. En ligero o moderado descenso, con mínimas que se darán al final del día. Heladas débiles, moderadas en cotas altas. Soplarán vientos fuertes con rachas muy fuertes, que girarán de sudoeste a noroeste hacia el mediodía. No se descartan algunas rachas huracanadas en cotas altas.

NOTA: Este boletín se realiza con la información y datos disponibles hasta el momento de su emisión. Posteriormente, las condiciones pueden cambiar y no ajustarse a lo pronosticado. El usuario debe proceder con precaución y adecuar en todo momento su comportamiento a la realidad que efectivamente encuentre.





Legenda

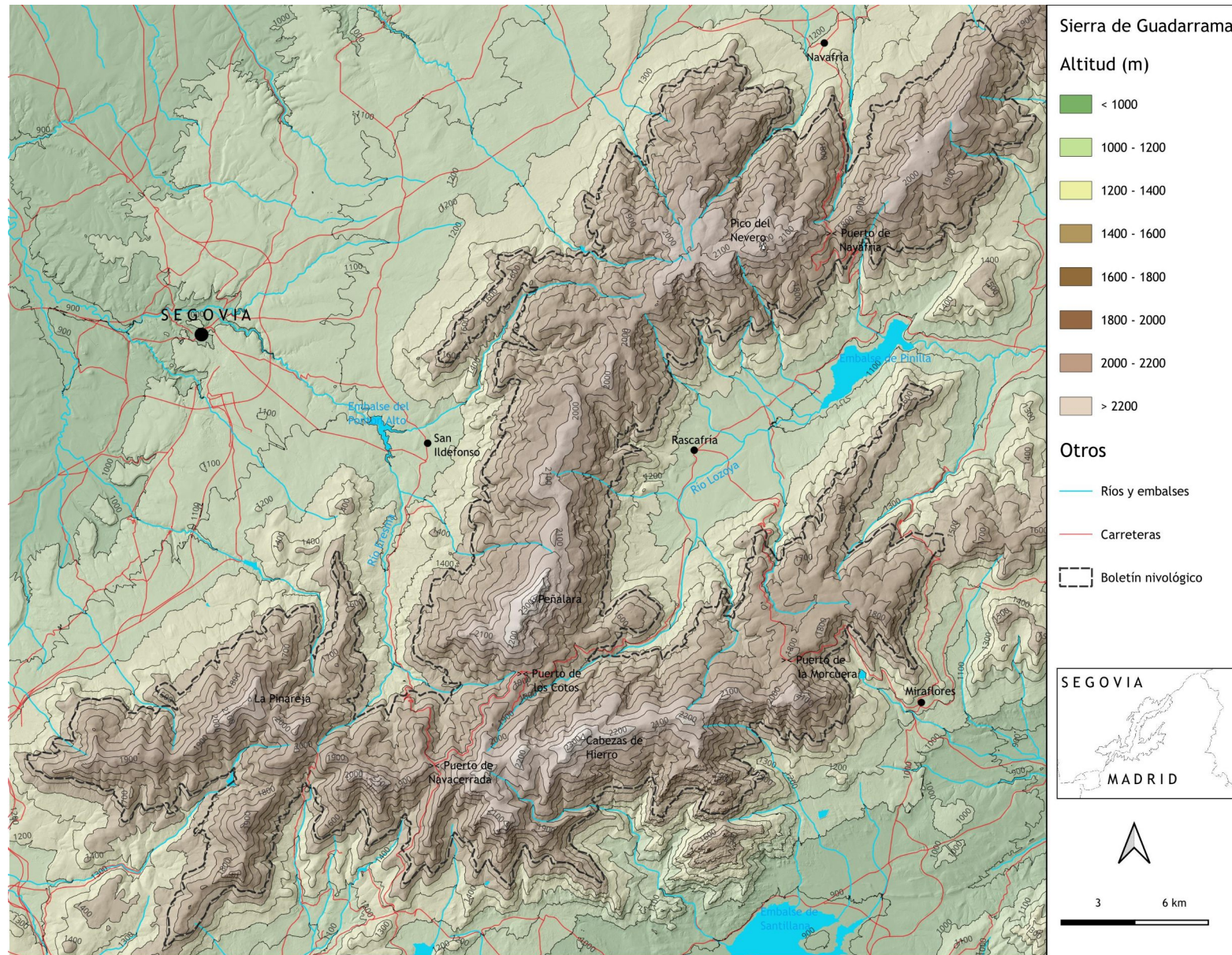
-  Puntos Cruciales
-  Avalanchas
-  Itinerarios

Clasificación ATES

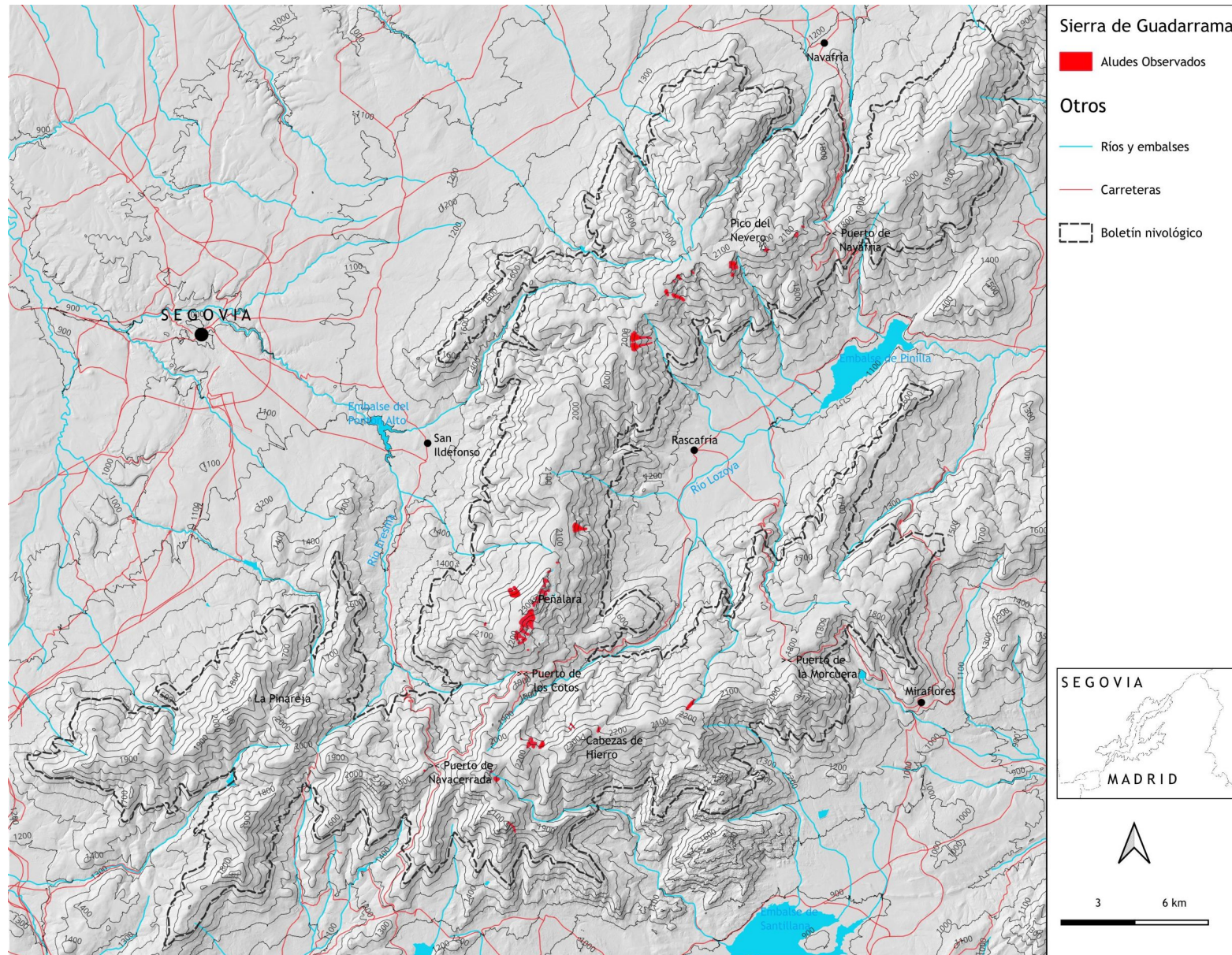
-  Terreno simple
-  Terreno exigente
-  Terreno complejo

	Clase 0: Terreno No Expuesto	Clase 1: Terreno Simple	Clase 2: Terreno Exigente	Clase 3: Terreno Complejo	Clase 4: Terreno Extremo
Exposición	No se observa exposición al recorrido de aludes	Mínima exposición al atravesar zonas de baja frecuencia de recorrido de aludes o pendientes cortas	Exposición intermitente en un trayecto o en trayectos separados	<i>Exposición frecuente a zonas de salida, recorrido o trayectos superpuestos</i>	Exposición mantenida en, o bajo zonas de salida
Pendiente y densidad del bosque	Pendiente menor de 10°, terreno abierto, o zonas más inclinadas con bosque denso	Pendiente menor de 20° o zonas más inclinadas en bosque denso con claros para el recorrido de aludes	Terreno abierto con pendiente menor de 30°, o bosque con claros y alguna pendiente mayor de 35°	Terreno de pendiente moderada menor de 35°, con muchas zonas abiertas de más de 35° y algunos rodales de árboles	Terreno abierto de más de 35°, con muchas zonas de más de 45°, con pocos árboles o sin ellos
Forma de la ladera	Terreno sencillo, llano u ondulado	Terreno ondulado sencillo	Terreno fundamentalmente plano con algunas convexidades	Terreno variado y enrevesado, con pendientes abiertas	Terreno enrevesado, con acantilados, corredores, dorsales y/o con cornisas
Trampas del terreno	No se observan trampas	Algunos arroyos, rodales de árboles o pequeños acantilados	Algunas pendientes sobre barrancos o riesgo de impacto contra árboles o rocas	Muchas pendientes sobre barrancos y/o riesgo de impacto contra árboles, rocas o grietas	Laderas empinadas con acantilados, cornisas, grietas y/o riesgo de impacto contra árboles o rocas
Frecuencia (nº años) y tamaño (t) de aludes	<i>Nunca (> 1:300)</i>	$< 1:100 - 1:30 \geq t 2$	$1:1 < t 2$ $1:30 - 1:3 \geq t 2$	$1:1 < t 3$ $1:1 \geq t 3$	$10:1 \leq t 2$ $>1:1 > t 2$
Densidad y tamaño de zonas de salida de aludes	No se observan zonas de salida	Zonas de salida aisladas y pequeñas con potencial de aludes de tamaño < 2	Zonas de salida aisladas con potencial de aludes de tamaño ≤ 3 , o varias zonas con potencial ≤ 2	Múltiples zonas de salida capaces de provocar aludes de todos los tamaños	Muchas zonas de salida muy grandes, capaces de provocar aludes de todos los tamaños
Características de las zonas de llegada de aludes	No se observan zonas de llegada	Límites claros, transiciones suaves, zonas de llegada lisas, sin conexión con zonas de salida por encima	Transiciones abruptas, zonas de depósito confinadas, larga conexión con zonas de salida por encima	Zonas donde convergen distintas trayectorias, zonas de depósito confinadas, conexión con zonas de salida por encima	Laderas empinadas, confinamiento de acantilados, grietas, zonas de salida directamente sobre ellas
Opciones de ruta	Rutas designadas o zonas de poca pendiente con muchas opciones	Numerosas rutas posibles. El terreno permite múltiples opciones	<i>Varias opciones con distintos niveles de exposición. Hay opciones de evitar las zonas de trayecto de aludes</i>	Limitadas opciones de reducir la exposición, evitarlas no es posible	Sin opciones para reducir la exposición

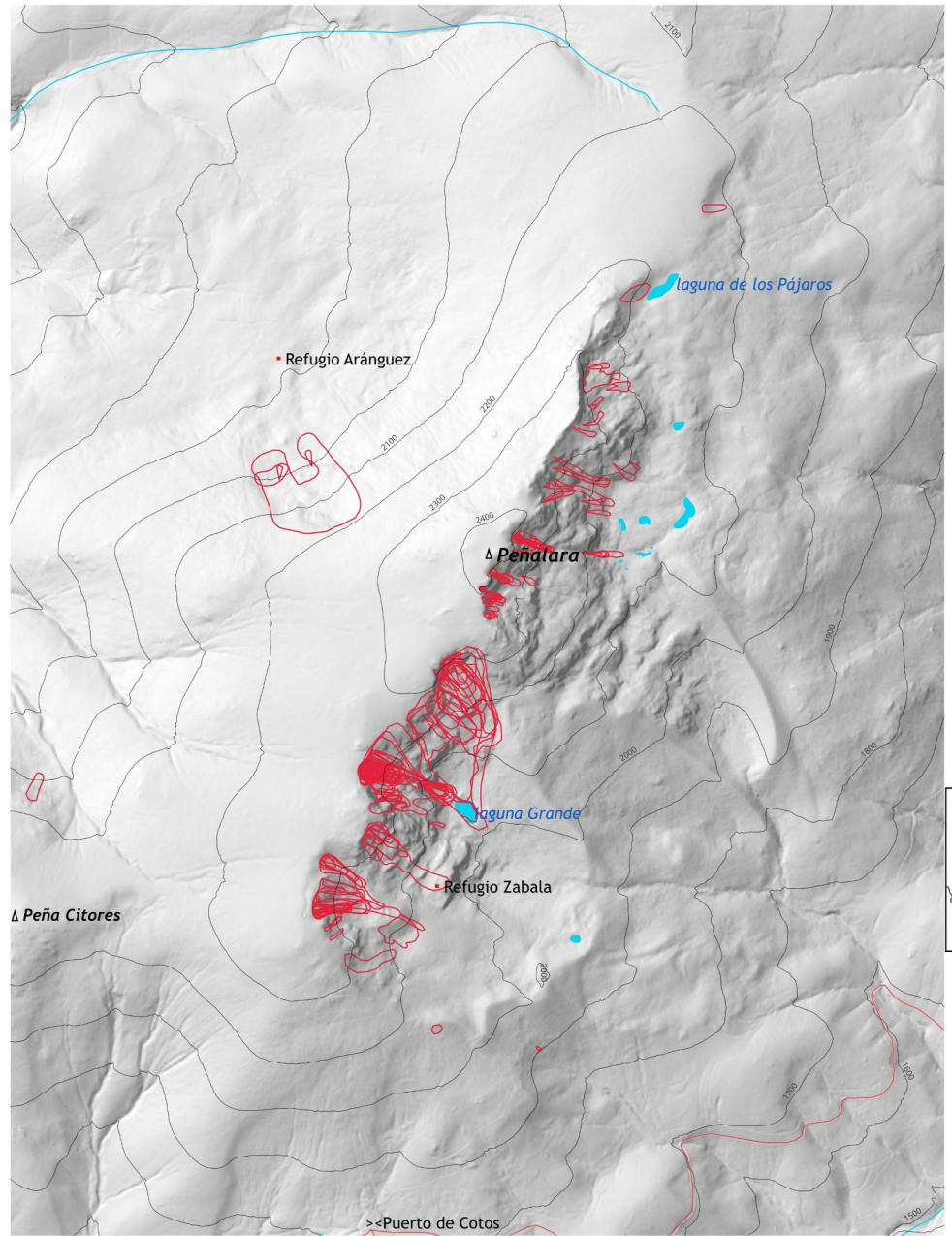
Tabla 2. Modelo técnico ATEs v.2 (adaptado de Statham & Campbel, 2023).



Zona de estudio

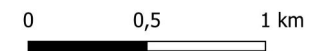


Aludes observados desde 2009



Macizo de Peñalara

- Aludes Observados
- Ríos y embalses
- carreteras



Modelo *Gravitational Process Path* (GPP)

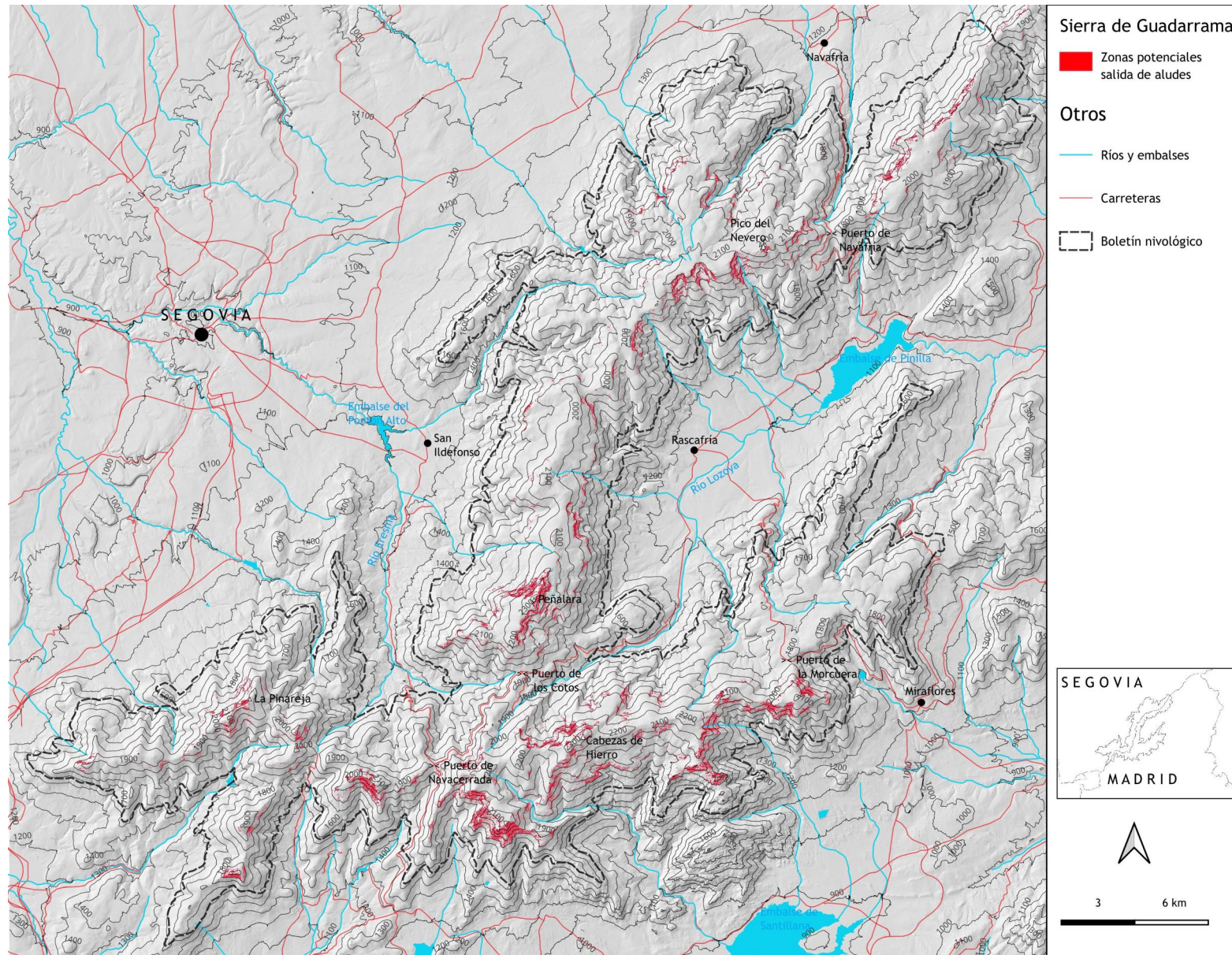
- Wichmann (2017), integrado en SAGA GIS.
- Simulación de **procesos gravitacionales** a partir de un MDE de alta resolución.
- Combina **varios componentes** (recorrido, distancia de deposición, llenado de depresiones y depósito de material) para simular el **movimiento de una masa** desde un punto de salida hasta el área de deposición.
- Para cada componente hay varios modelos disponibles → se puede configurar para **diferentes procesos**: avalanchas de nieve, desprendimientos de rocas, flujos de lodo,...
- Se puede aplicar tanto al modelado de **eventos individuales** localizados como al cartografiado a escala regional de la **susceptibilidad** a peligros naturales.

Modelización de los aludes de la sierra de Guadarrama a escala regional

- Se siguieron las recomendaciones de Wichmann (2017) para la modelización de avalanchas de nieve:
 - Modelo *random walk* para el **recorrido** de los aludes
 - Modelo **PCM** para la distancia de **deposición**
- Partiendo de los rangos de valores sugeridos por Wichmann para la modelización de avalanchas de nieve, se ajustaron de forma que el recorrido de los aludes modelizados se correspondiera de la forma más fiel posible al recorrido de los **aludes históricos** cartografiados.

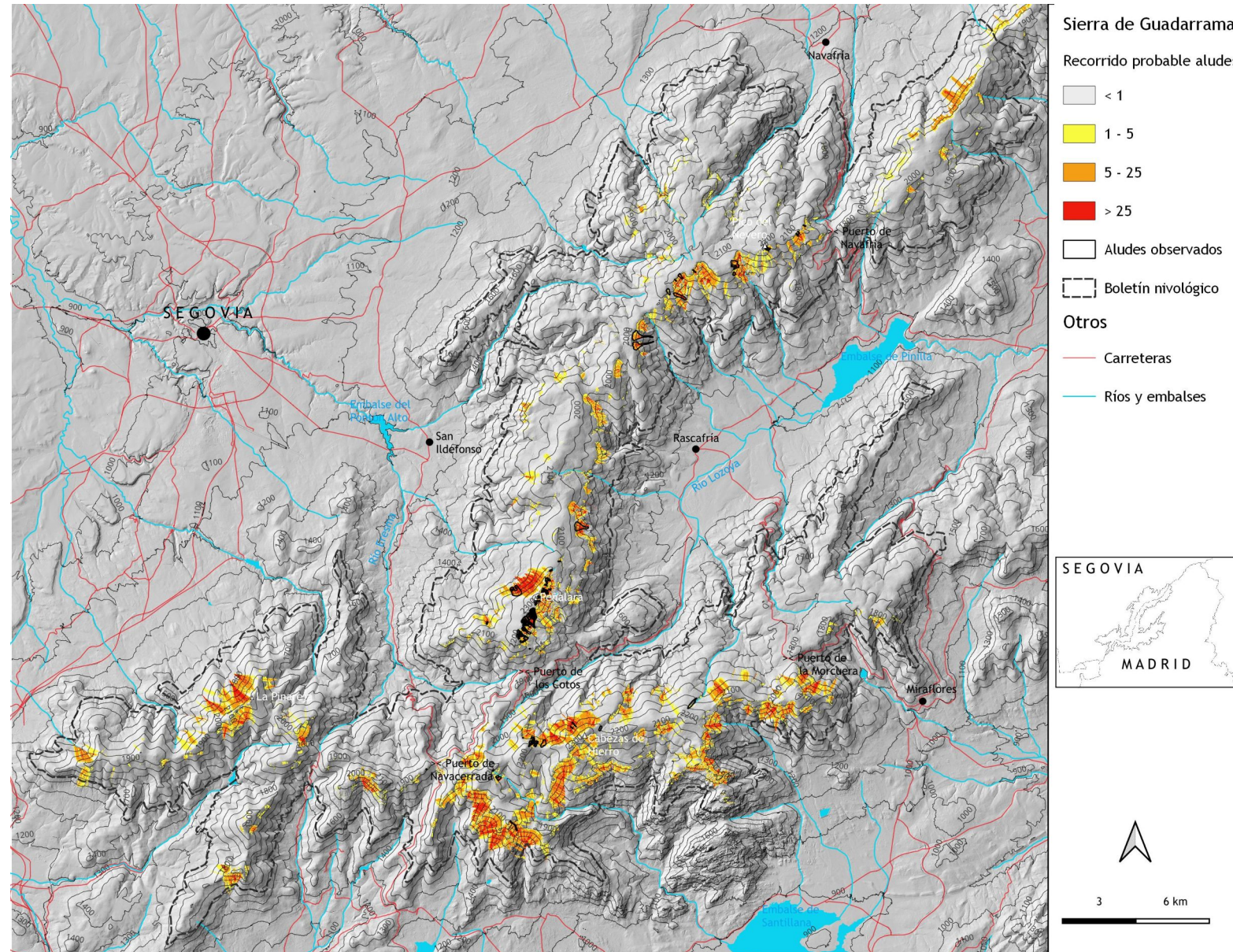
Zonas potenciales de salida de aludes

- Necesario disponer previamente de una capa ráster con las **áreas potenciales de salida** de aludes, la cual se utilizará en el modelo como zonas de salida de aludes.
- Se aplicaron los criterios utilizados por Maggioni et al. (2002) para la caracterización de las zonas potenciales de salida en la región de Davos (Suiza):
 - **pendiente entre 30° y 60°** (MDT5)
 - **no existencia de bosque denso** (MFE25)
- Se impuso además la condición **altitud > 1800 m.**

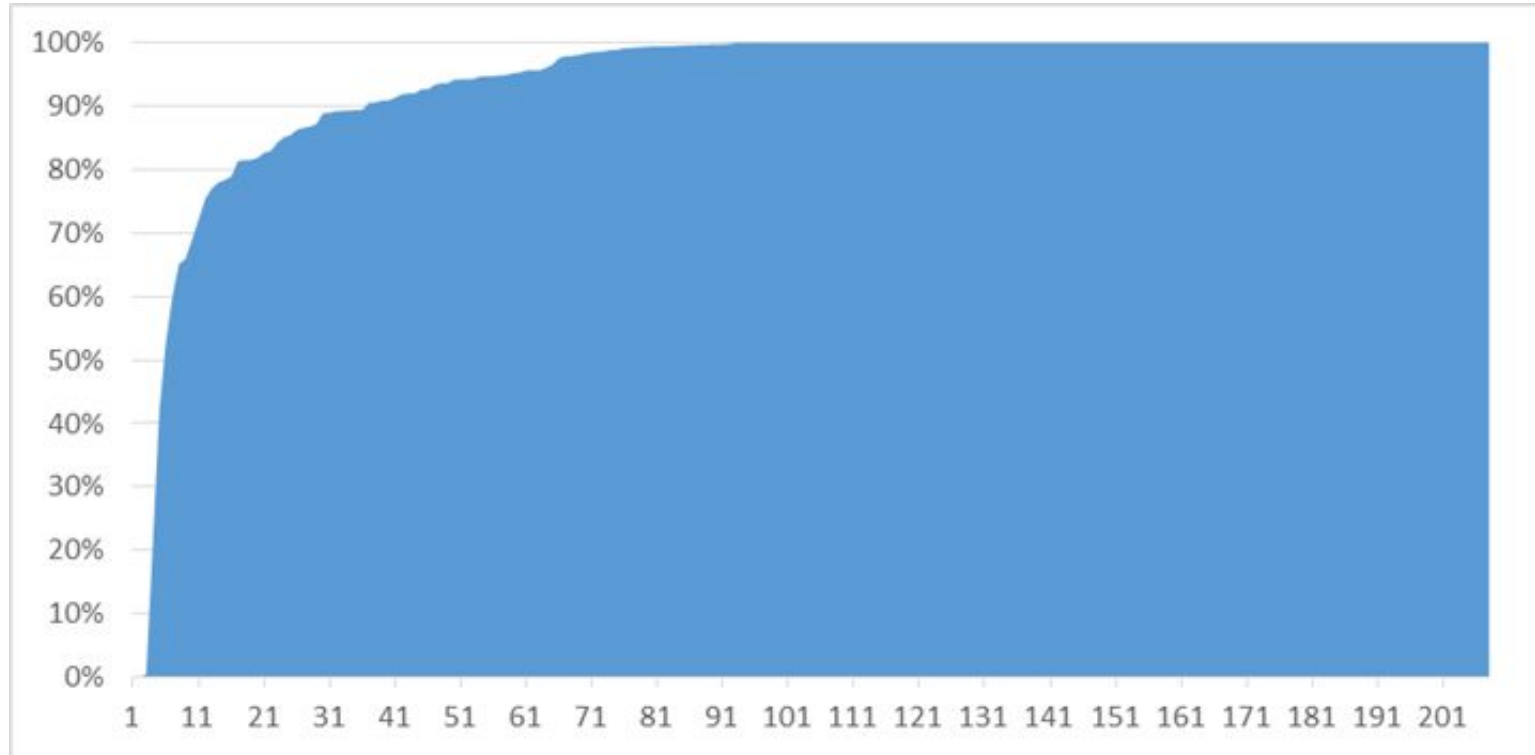


Zonas potenciales de salida de aludes

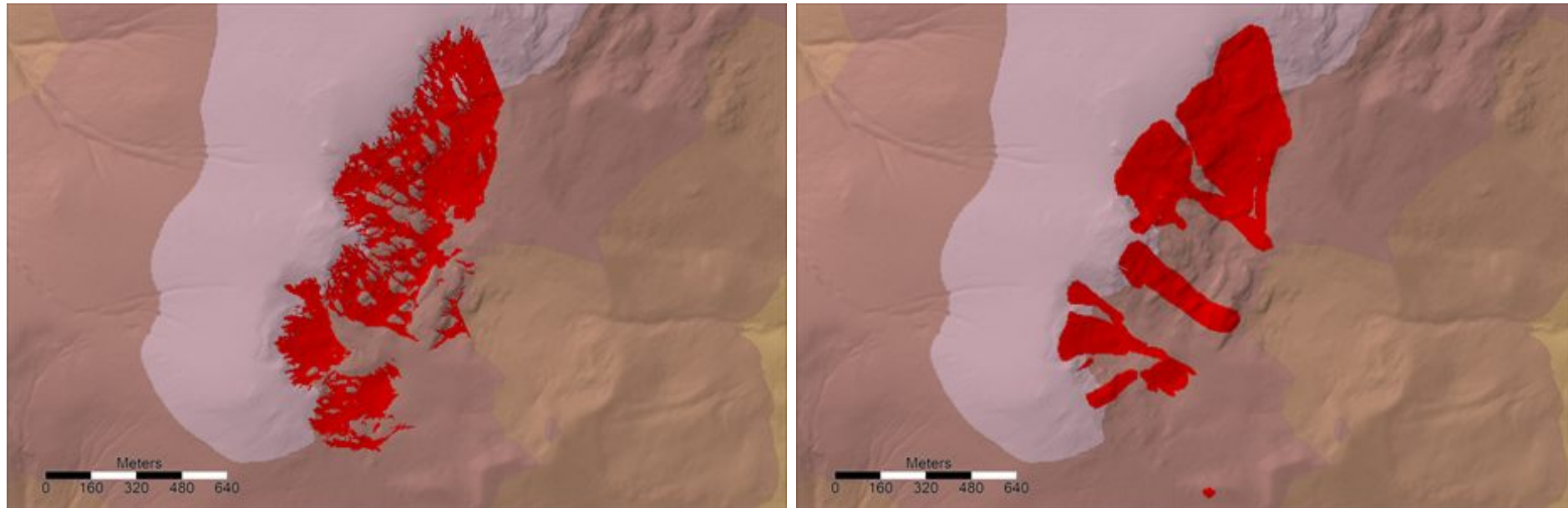
Resultados



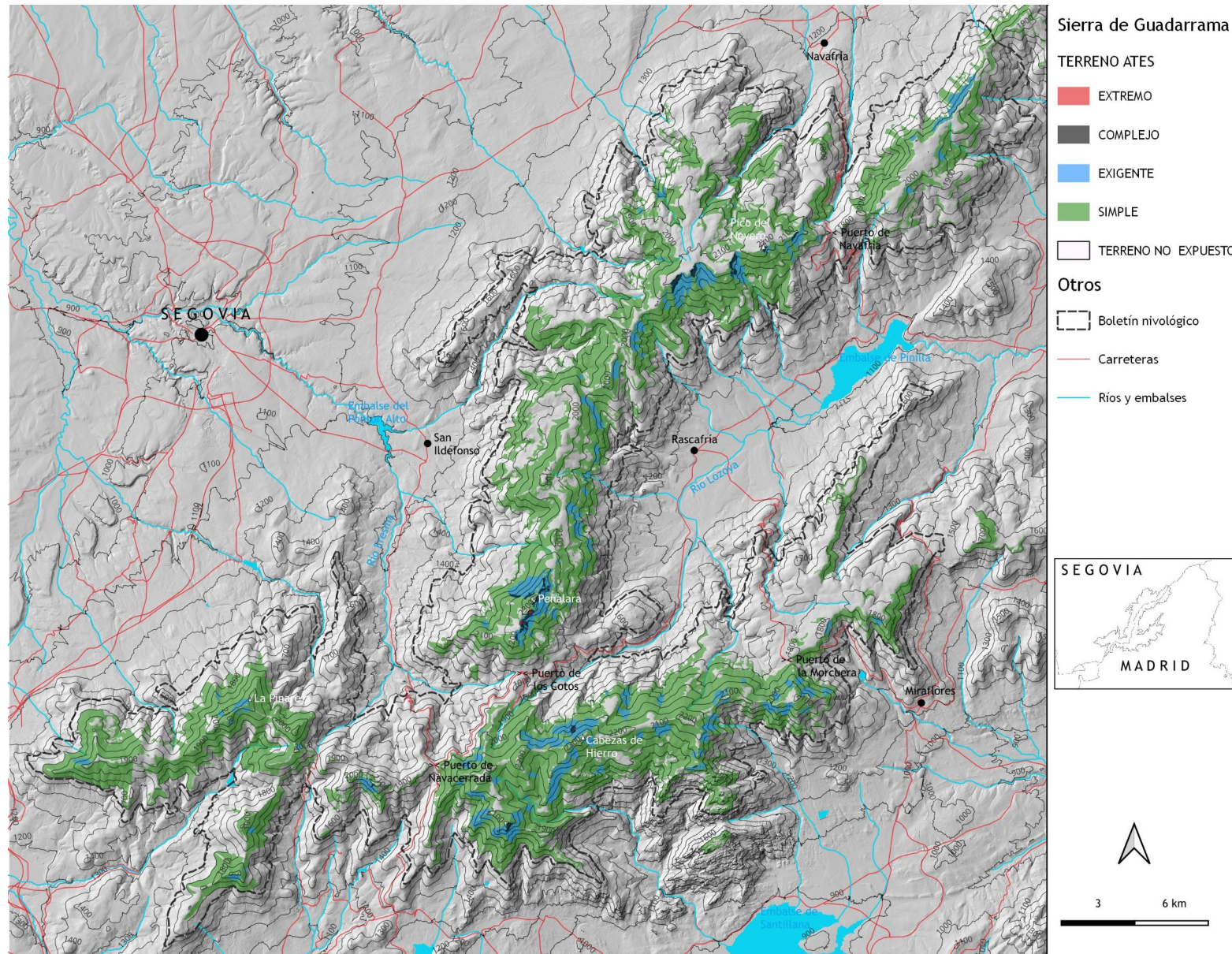
Zonas potenciales de recorrido de aludes



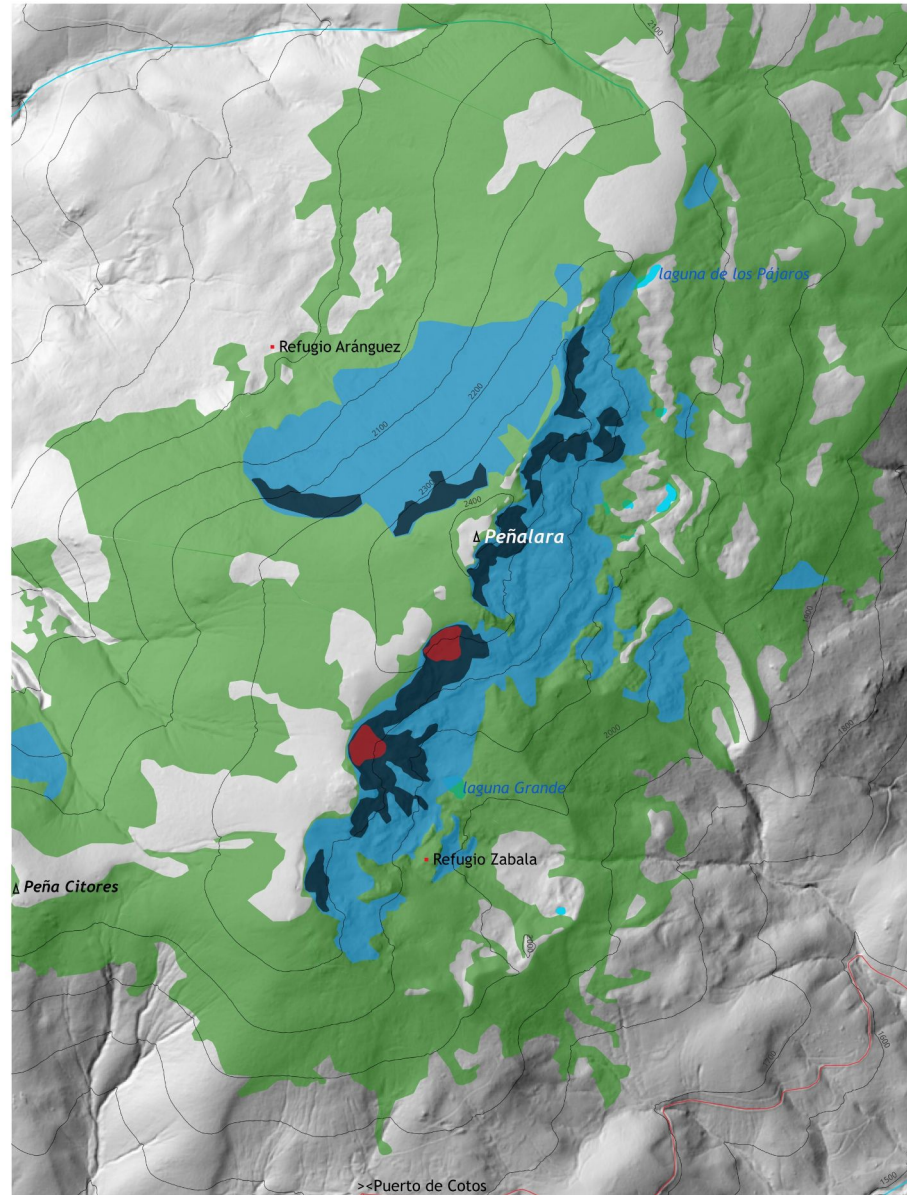
Porcentaje del recorrido de los aludes observados cubiertos por las zonas potenciales de recorrido de aludes estimadas por el modelo



Comparación entre las zonas potenciales de recorrido de aludes (izquierda) y los aludes históricos observados (derecha) en la vertiente sureste del macizo de Peñalara



Clasificación ATES v.2



Macizo de Peñalara

TERRENO A TES

EXTREMO

COMPLEJO

EXIGENTE

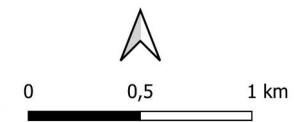
SIMPLE

TERRENO NO EXPUESTO

Otros

Ríos y embalses

Carreteras



Gracias por la atención