

Mapas de espesor de nieve en la sierra de Guadarrama durante la campaña 2017-2018

<https://doi.org/10.31978/639-19-010-0.103>

Andrés Chazarra Bernabé¹ (achazarrab@aemet.es)

Juan Antonio Fernández-Cañadas López Peláez² (jfernandezcanadasl@aemet.es)

Gerardo Sanz Arauz³ (gsanza@magrama.es)

¹AEMET / Dirección de Producción e Infraestructuras

²AEMET / Delegación Territorial en Madrid

³AEMET / Delegación Territorial en Aragón

RESUMEN

En el presente trabajo se describe el método que se ha empleado en la Agencia Estatal de Meteorología para la generación de mapas de nieve en la sierra de Guadarrama durante la campaña de nieve 2017-2018. Estos mapas se han elaborado a partir de datos de espesor de nieve medidos *in situ* y de imágenes de satélite, empleando sistemas de información geográfica (SIG). Se analizan los resultados obtenidos hasta el momento y se evalúa la posibilidad de extender el estudio a otros sistemas montañosos.

PALABRAS CLAVE: espesor de nieve; SIG; aludes; imágenes de satélite; sierra de Guadarrama.

1. INTRODUCCIÓN

La Agencia Estatal de Meteorología elabora desde los años ochenta del pasado siglo boletines nivológicos y de peligro de aludes (BPA) para los principales macizos montañosos del territorio español (SANZ y PASCUAL, 2017). En ellos se sintetiza la información disponible sobre el estado del manto nivoso y se incluye una predicción sobre la evolución probable de las características del manto y el peligro de ocurrencia de aludes en función del tiempo atmosférico previsto, información que resulta fundamental para la prevención de accidentes en montaña relacionados con la nieve.

Con el objeto de mejorar la información nivometeorológica que se suministra a los predictores encargados de elaborar los BPA, durante la campaña de nieve 2017-2018 se han comenzado a generar mapas de espesor de nieve en la sierra de Guadarrama obtenidos a partir de datos de espesor del manto tomados en el terreno y de imágenes de satélite, empleando sistemas de información geográfica (CHAZARRA *et al.*, 2018). Se escogió la sierra de Guadarrama como área de estudio piloto por tratarse de una zona en la que se dispone de abundante información nivológica proporcionada por el personal que participa en las campañas de nieve de AEMET de la sierra de Guadarrama. Se ha generado durante la campaña invernal 2017-2018 un mapa semanal, a partir de los datos recogidos los martes o miércoles, de forma que los predictores dispongan de un mapa de espesor reciente los jueves, día en el que se elabora y emite el BPA para la sierra de Guadarrama con la previsión del peligro de aludes para el fin de semana.

Estos mapas proporcionan de forma sencilla e intuitiva información acerca de la extensión de la cubierta de nieve y de la cota de nieve en las diferentes orientaciones del terreno, así como una estimación del espesor existente en las distintas zonas del área de estudio.

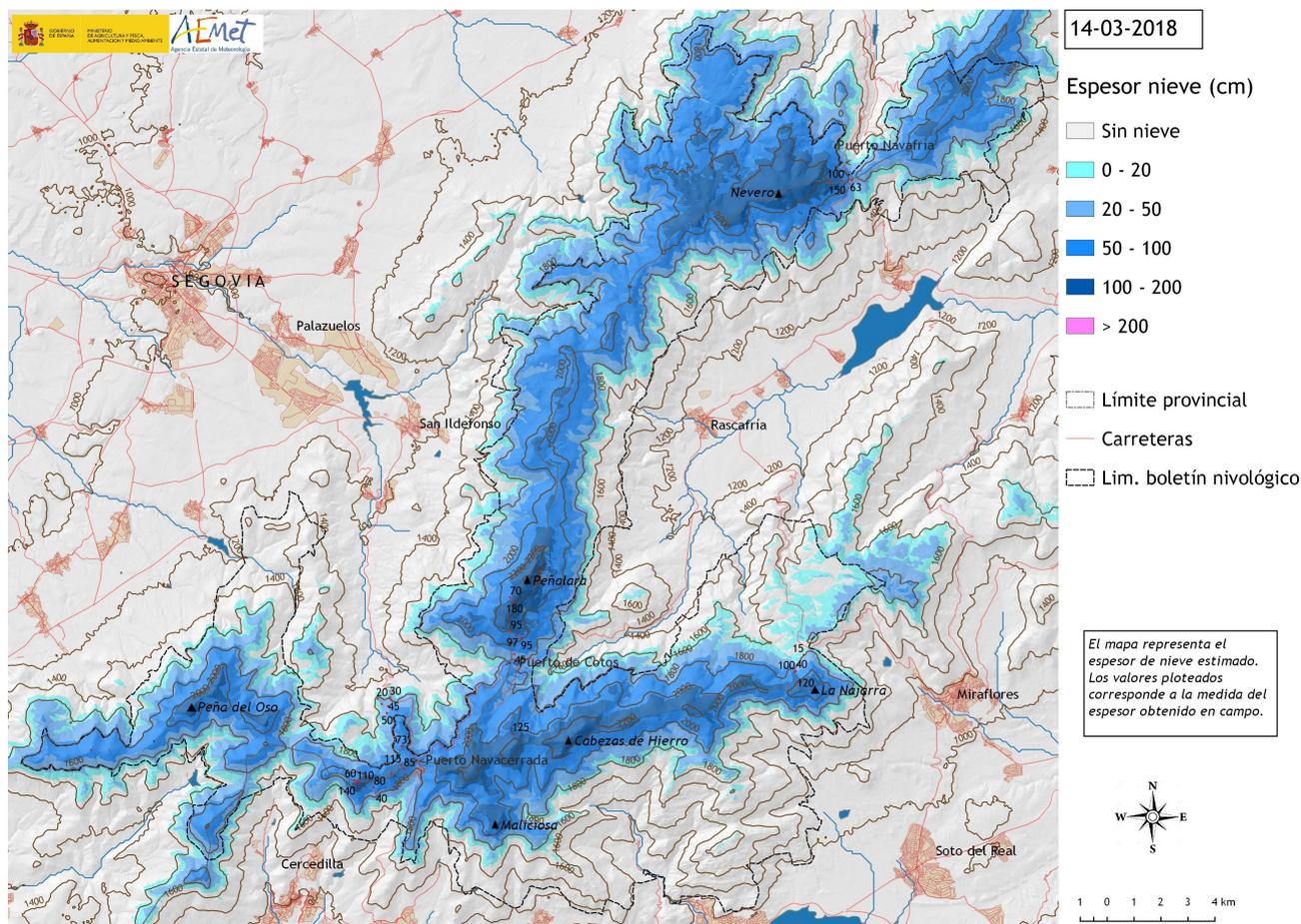


Figura 1. Mapa de espesor de nieve correspondiente al 14 de marzo de 2018 obtenido mediante el procedimiento descrito en el artículo.

En el presente trabajo se describe el método empleado para la generación de los mapas de espesor y se muestran los resultados obtenidos durante la campaña 2017-2018.

2. ÁREA DE ESTUDIO Y DATOS EMPLEADOS

El área de estudio coincide con el territorio considerado en los boletines de peligro de aludes de la sierra de Guadarrama que emite la Agencia Estatal de Meteorología, el cual abarca el Parque Nacional de la sierra de Guadarrama en su totalidad más aquellas zonas limítrofes que se encuentran a una altitud superior a 1800 m (véase figura 1). Se trata de una zona del sistema Central situada entre las provincias de Segovia y Madrid, con una superficie aproximada de 350 km², en la que son numerosas las cumbres de más de 2000 m de altitud, siendo el pico Peñalara, con 2428 m, la cima de mayor altitud.

Para la generación de los mapas se han utilizado datos de espesor de nieve procedentes de las estaciones meteorológicas de AEMET y del Parque Nacional de Guadarrama situadas dentro de la zona de estudio (observatorios del puerto de Navacerrada y Cotos), así como datos de espesor en pértigas fijas y en puntos variables medidos durante los estudios nivológicos que realiza periódicamente el Grupo de Nieve de AEMET en la sierra de Guadarrama. En la toma de medidas participa personal de AEMET, agentes medioambientales de Madrid y Segovia, guardas del Parque Nacional de la sierra de Guadarrama y personal de la estación de esquí nórdico de Navafría.

La selección de los lugares donde se miden los espesores se realiza escogiendo puntos que puedan considerarse representativos del espesor medio de la zona, evitando tanto zonas de acumulación de nieve (hoyas, tubos, etc.) como zonas barridas por el viento (crestas, etc.)

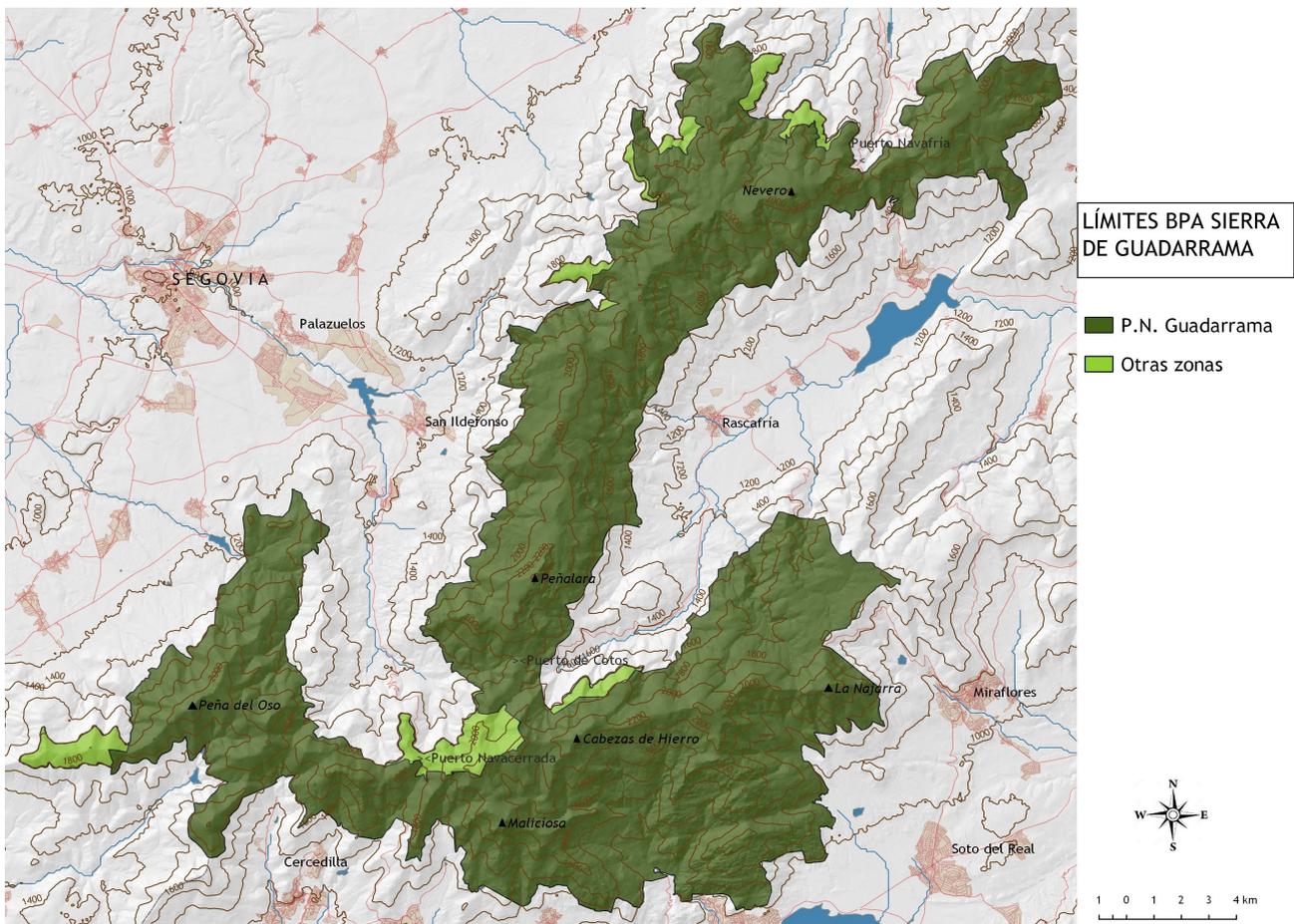


Figura 2. Límites de la zona de estudio.

El número de datos disponible para la generación de cada mapa ha sido, por tanto, variable, habiendo oscilado entre 15 y 40 en la campaña de nieve 2017-2018.

Así mismo, se han utilizado imágenes de los satélites Sentinel-2 y MODIS para complementar la información suministrada por los datos *in situ*. Cuando han estado disponibles se han utilizado imágenes Sentinel-2, ya que proporcionan una resolución espacial mayor, entre 10 y 60 metros dependiendo de la banda, frente a una resolución de entre 250 y 1000 metros para las imágenes MODIS. La resolución temporal para la zona de estudio es de una imagen cada 2-3 días para Sentinel-2 y de una imagen diaria para MODIS.

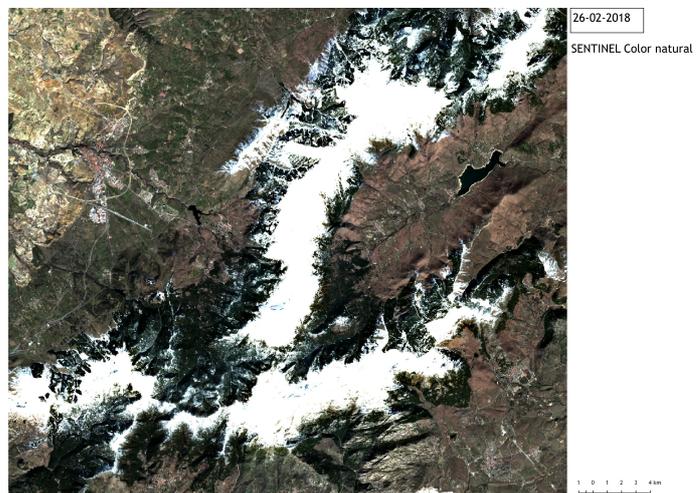


Figura 3. Imagen Sentinel en color natural del 26 de febrero de 2018 de la zona de estudio, en la que se aprecia en color blanco la superficie nevada.

3. METODOLOGÍA

El primer paso consiste en la estimación de la extensión de la cubierta de nieve a partir de las imágenes de satélite. Para ello se calcula a partir de las imágenes de satélite disponibles el índice NDSI (*Normalized Difference Snow Index*). Este índice se basa en que la nieve es muy reflexiva en el espectro visible mientras que es muy absorbente en el infrarrojo medio, por lo que utiliza la diferencia normalizada entre dos bandas

situadas en dichos rangos del espectro para distinguir las zonas cubiertas por la nieve. Al ser las nubes generalmente reflexivas en ambas regiones del espectro, el NDSI sirve también para discriminar entre nieve y nubes (HALL *et al.*, 1995). Se obtiene así una imagen NDSI con una resolución espacial de 20 metros en el caso de Sentinel-2 y de 500 metros para MODIS.

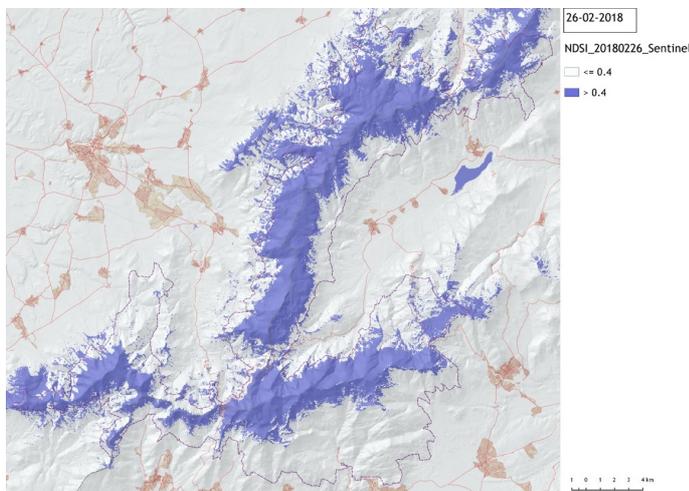


Figura 4. Estimación de la cubierta de nieve obtenida al aplicar el índice NDSI a la imagen Sentinel-2 del 26 de febrero de 2018.

Para la determinación de la cubierta de nieve se aplicó la metodología habitual, propuesta por Dozier (CEA *et al.*, 2006; DOZIER, 1989), la cual selecciona como cubierta nival las celdas con un valor NDSI $> 0,4$. Este procedimiento permite determinar con bastante precisión las zonas cubiertas por la nieve en terrenos despejados y zonas con arbolado escaso, siempre que el cielo no esté cubierto de nubes; sin embargo, presenta importantes limitaciones en los casos de bosques densos (HALL *et al.*, 1995), superficies de agua, las cuales identifica como nieve (CEA *et al.*, 2006), y sombras del terreno (DOZIER y MARKS, 1987).

El campo NDSI obtenido se utiliza para complementar los datos de espesor *in situ* añadiendo datos de espesor cero en puntos situados en el

límite inferior del manto, escogiendo zonas despejadas o con arbolado escaso. Además, sirve para evaluar cualitativamente la calidad del mapa de espesor de nieve que se generará a continuación mediante interpolación espacial de los datos.

El método escogido para la interpolación espacial consistió en aplicar mediante técnicas SIG un modelo de regresión múltiple paso a paso con distintas variables del terreno, sumando a continuación el campo de residuos interpolados mediante *krigeado* ordinario. Las variables topográficas consideradas fueron la altitud, la pendiente, la orientación en las direcciones N-S y E-W (seno y coseno de la orientación) y el índice TPI (*Topographic Position Index*), generadas a partir de un modelo digital de elevaciones con un tamaño de celda de 20 metros obtenido a su vez del MDT05 del Instituto Geográfico Nacional.

4. RESULTADOS

Durante la campaña de nieve 2017-2018 se generaron mapas de espesor de nieve con una periodicidad semanal. El primer mapa se elaboró el 7 de enero de 2018, después de la primera nevada significativa de la temporada y coincidiendo con la emisión del primer BPA, mientras que el último mapa se generó el 25 de abril, coincidiendo con la emisión del último BPA de la temporada. Se realizaron, por tanto, quince mapas a lo largo de la temporada. Como puede apreciarse en la figura 5, hubo cinco episodios de nevadas intensas durante la temporada que dieron lugar a que el espesor de la nieve en la zona se situara en valores por encima de la media desde enero hasta el final de la temporada.

En el análisis de los resultados obtenidos durante la campaña 2017-2018 se observa una evidente correlación del espesor de nieve con la altitud en la zona de estudio ($R \sim 0,8$) que resulta en general más marcada después de nevadas intensas. Del resto de variables consideradas, únicamente la orientación del terreno en la dirección N-S ha presentado de forma habitual una correlación significativa ($R \sim 0,5$), la cual suele ser más marcada después de varios días soleados o con escasa nubosidad, en los que la fusión es mayor en las laderas orientadas al sur. En algunos casos, especialmente en la segunda mitad de la temporada, también el índice TPI ha mostrado una correlación significativa.

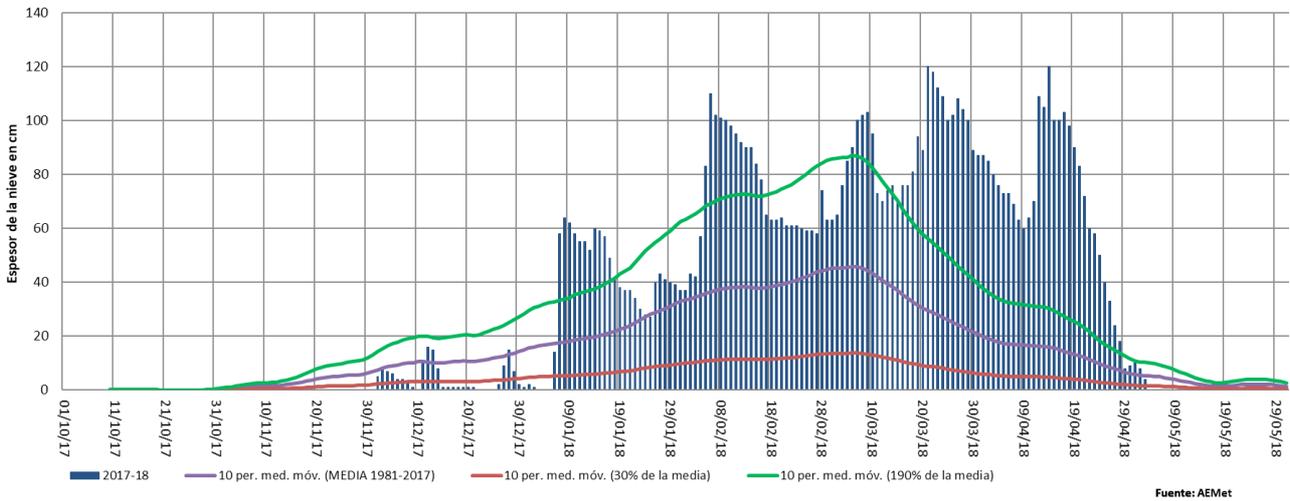


Figura 5. Espesor diario de nieve en el observatorio del puerto de Navacerrada durante la temporada invernal 2017-2018. La línea morada representa el valor medio en el periodo 1981-2016.

Por otra parte, en la comparación visual entre los mapas de espesores obtenidos y el campo del índice NDSI generado a partir de las imágenes de satélite se observa una notable similitud en la extensión de la cubierta de la nieve en las zonas desprovistas de bosques (véase figura 6), la cual induce a pensar en un correcto funcionamiento del método de interpolación empleado.

En cuanto a la validación de los campos de espesor, los estudios realizados reservando un 25 % de los datos y repitiendo el proceso de interpolación con el 75 % restante indican errores medios significativos, del orden del 20-35 % dependiendo de la situación analizada. A pesar de ello, los resultados pueden considerarse satisfactorios teniendo en cuenta que se trata de una variable compleja, con unas características marcadamente locales, cuya modelización espacial resulta habitualmente difícil.

El método empleado parece, por tanto, adecuado para representar el espesor de nieve en la zona de la sierra de Guadarrama con un grado de precisión suficiente para que resulte útil en la elaboración de los BPA. Sería aconsejable disponer de una red fija de puntos de medida, basada en estaciones meteorológicas y pértigas, de mayor densidad que la actual para mejorar la calidad de los mapas y facilitar el almacenamiento y tratamiento posterior de los datos. En próximas campañas se espera contar con los datos de espesor de las estaciones de la red GuMNet situadas en la zona. Así mismo, para la siguiente temporada se espera contar con las imágenes de la misión Sentinel-3, cuyo segundo satélite fue puesto en órbita a finales de abril de 2018.

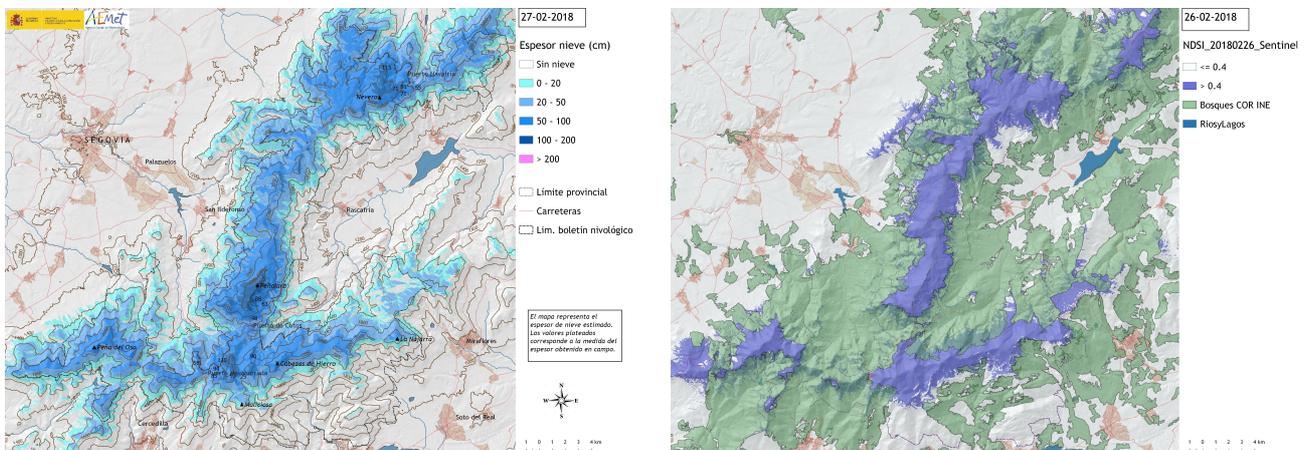


Figura 6. Izquierda: mapa de espesor de nieve del 27 de febrero; derecha: índice NDSI del 26 febrero sobre el que se han superpuesto capas con la extensión de los bosques y las láminas de agua para indicar las zonas en las que el NDSI presenta limitaciones para discriminar correctamente la superficie de nieve.

En cuanto a la posibilidad de extenderlo a otros sistemas montañosos, las primeras pruebas realizadas en el Pirineo indican que sería necesario contar con una densidad de datos alta, similar a la existente en la sierra de Guadarrama, para obtener resultados de calidad, lo que dificulta actualmente su aplicación de forma operativa en otras zonas.

5. CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos en la campaña de nieve 2017-2018 se desprende que el método descrito para la generación de mapas de espesor de la nieve a partir de medidas de espesor y de imágenes de satélite proporciona campos de una calidad suficiente para su uso en la elaboración de los Boletines de Peligro de Aludes en la zona considerada. En el futuro, sería aconsejable disponer de una red fija de puntos de observación basada en estaciones meteorológicas y pértigas con una densidad mayor que la actual para mejorar la calidad de los mapas. En cuanto a la posibilidad de aplicar el método en otros sistemas montañosos, las primeras pruebas realizadas indican que sería necesaria una densidad de datos similar a la disponible actualmente en la sierra de Guadarrama para obtener resultados de calidad.

REFERENCIAS

- CEA, C., CRISTÓBAL J. y PONS, X., 2006. Mejoras en la determinación de la cubierta nival mediante imágenes Landsat y Modis. El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas, pp. 65-78.
- CHAZARRA, A., FERNÁNDEZ-CAÑADAS, J. A. y SANZ, G., 2018. Mapas de espesor de nieve en la sierra de Guadarrama obtenidos mediante técnicas SIG. XXXV Jornadas Científicas de la AME - 19º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología. *Acta de las Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*, núm. 35, pp. 265-271.
- DOZIER, J. y MARKS, D., 1987. Snow mapping and classification from Landsat Thematic Mapper data. *Annals of Glaciology*, 9, pp. 97-103.
- DOZIER, J., 1989. Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, 28, pp. 9-22.
- FERNÁNDEZ-CAÑADAS LÓPEZ-PELÁEZ, J. A., 2014. Los aludes de nieve en el macizo de Peñalara. Nota técnica 14. Agencia Estatal de Meteorología.
- HALL, K., RIGGS, G. A. y SALOMONSON, V. V., 1995. Development of Methods for Mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Data. *Remote Sensing of Environment*, 54, pp. 127-140.
- HALL, K., RIGGS, G. A., SALOMONSON, V. V., DIGIROLANNO, N.E. y BAYR, K. J., 2002. MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment*, 83, pp. 181-194.
- REVUELTO, J., LÓPEZ-MORENO, J. L., AZORÍN-MOLINA, C. y VICENTE-SERRANO, S. M., 2014. Topographic control of snowpack distribution in a small catchment in the central Spanish Pyrenees: intra- and inter-annual persistence. *The Cryosphere*, 8, pp. 1989-2006.
- SANZ, G., ALONSO, S., FERNÁNDEZ-CAÑADAS, J. A., PANTOJA, L., SANZ, P., RODRÍGUEZ, J., VALLE, A., GARVÍA, M. y CHAZARRA, A., 2017. Spanish Meteorological Agency Avalanche Warning and Forecasting Activities (poster). 19th Conference of the European Avalanche Warning Services (EAWS), Tutzing (Germany).
- SANZ, G. y PASCUAL, R., 2017. Predicción meteorológica para zonas de montaña en España. *Calendario Meteorológico 2018*, pp. 276-288. Agencia Estatal de Meteorología.
- STOFFEL, A., FOPPA, N. y RADERSCHALL, N., 2006. Mapping Snow Depth in the Alps. Proceedings of the 2006 International Snow Science Workshop, Telluride, Colorado (USA).