



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS PROCEDENTES DE LA INNIVACIÓN

PROGRAMA ERHIN

**METODOLOGÍA APLICADA PARA LA
OBTENCIÓN DEL VOLUMEN DE AGUA
EN FORMA DE NIEVE A PARTIR DE LOS
VALORES DE DENSIDAD Y ESPESOR
MEDIDOS EN CAMPO**

INTRODUCCIÓN

La nieve es un recurso fundamental a tener en cuenta en la planificación y gestión del agua, a nivel estatal y de cuenca hidrográfica. Por ello, al inicio de la década de los 80, la Dirección General de Obras Hidráulicas (actual Dirección General del Agua, DGA en adelante) inicia nuevas investigaciones y estudios en este campo, con el objetivo de evaluar el volumen de agua en forma de nieve (VAFN, en adelante) existente en las principales cordilleras españolas: Pirineos, Sistema Cantábrico, Sistema Central y Sierra Nevada. Para ello, se desarrolló el Programa ERHIN (Evaluación del Recurso Hídrico procedente de la Innivación), programa bajo el cual, se llevan a cabo toda una serie de tareas cuyo objetivo final es la estimación y seguimiento del recurso hídrico contenido en el manto de nieve.

Una de las principales tareas de dicho programa es la medición en campo del espesor y densidad del manto nival en una red de pértigas y telenivómetros instalados de forma homogénea en los sistemas montañosos anteriormente mencionados. A partir de estas dos variables y mediante la aplicación de técnicas de interpolación, se estima el VAFN existente en cada uno de los sistemas montañosos.

La frecuencia temporal con la que dichas labores de campo son realizadas varía en función del sistema y de la temporada nival *per se*, no siendo igualmente planificadas en cada uno de los sistemas, de manera que existiera flexibilidad para adaptarse a las necesidades de cada uno de ellos. El objetivo es poder evaluar el recurso que estará disponible en primavera, así como el riesgo asociado a potenciales avenidas causadas y/o exacerbadas por la fusión nival. Además, estas mediciones también servirán para evaluar los resultados del modelo pluvionival ASTER modelo utilizado para la estimación diaria de VAFN, y hacer mejoras y modificaciones del mismo en caso de ser necesario.

El presente documento pretende describir detalladamente la metodología empleada para la estimación del VAFN a partir de las mediciones tomadas en campo que se han venido aplicando de forma sistemática para cada una de las temporadas nivales.

METODOLOGÍA

La metodología para la obtención del VAFN a partir de las mediciones en campo está compuesta por cuatro puntos principales:

- [1]. Campañas de campo: toma de datos de espesor y de densidad de nieve en la red de pértigas y otros puntos de control
- [2]. Determinación de la superficie innivada en el momento en el que tiene lugar las campañas de campo
- [3]. Obtención del mapa de equivalente de agua de la nieve aplicando las denominadas leyes de innivación
- [4]. Cálculo final del volumen de agua en forma de nieve

Campañas de campo

En cada una de las campañas de campo, en todas las pértigas instaladas de forma homogénea en los cuatro sistemas montañosos que forman parte del programa ERHIN, se toman mediciones de espesor del manto nival mediante el uso de sonda. Además, también se toma una fotografía nítida en la que se

pueda comprobar posteriormente la lectura de la pértiga y llevar así un registro histórico de las mismas
Figura 1



Figura 1. Técnico aproximándose a una pértiga perteneciente a la red ERHIN para realizar la medición visual de la misma

Sobre un 10% de las pértigas, además de la lectura, el trabajo incluye la extracción de testigos mediante tubo toma-muestras apilable de 1 m de longitud y sección constante, con penetración hasta el terreno y/o hielo glaciar y posterior pesaje para obtener la densidad de la nieve y el volumen equivalente de agua (Figura 2). Se realizan, al menos, tres extracciones de testigos por punto de control y se comprueba in situ que se obtienen valores parecidos entre las tres mediciones. En caso de diferencias notables, se realizan la extracción de tantas muestras adicionales como sea necesario hasta que no haya desviaciones notables en los valores.



Figura 2. Técnico llevando a cabo pesaje de tubo sacamuestras para la obtención de la densidad de nieve

Determinación de la superficie innivada

La superficie cubierta por nieve se estima a partir del procesado de imagen satelital procedente de Sentinel 2 cuya precisión es de 10 metros. En concreto, se hace un mosaicado de las imágenes de Sentinel con menor grado de nubosidad y lo más cercanas posibles a la fecha en la que tuvo lugar la campaña. En la Figura 3 se puede ver la mancha de nieve y las fechas y los límites de las teselas utilizadas durante la campaña de campo del Pirineo de la temporada 2021-2022.

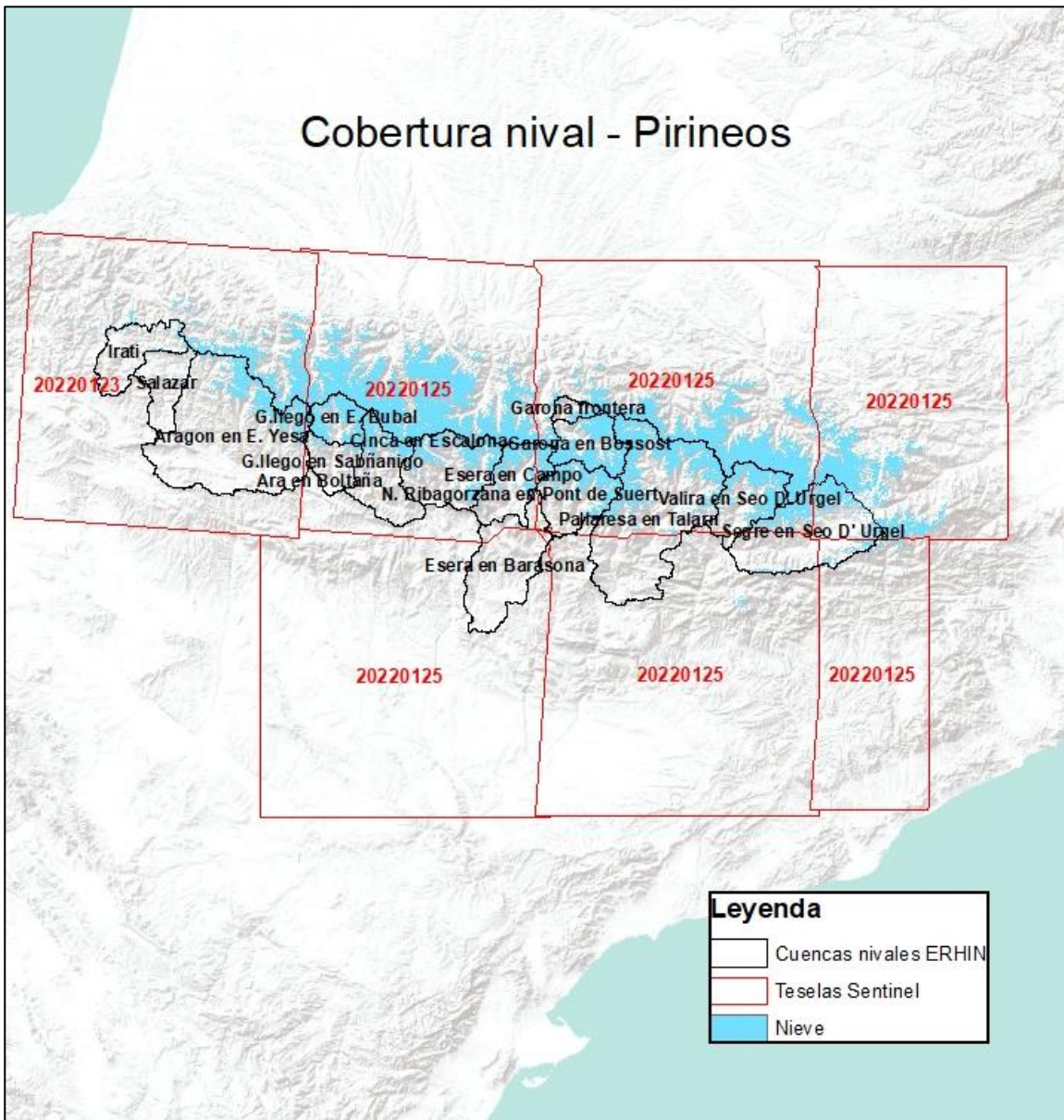


Figura 3 Zona cubierta de nieve obtenida a partir del mosaicado de las imágenes Sentinel en fechas próximas a la campaña y sin presencia de nubes asociadas a la campaña de campo de Pirineos de la temporada 2021-2022. La fecha y teselas utilizadas para el mosaicado están indicadas en rojo.

Obtención del mapa de equivalente de agua de la nieve

El espesor de nieve es una variable que varía espacialmente y que depende en gran medida de la cota. Es indiscutible que existen otras muchas variables que se pueden relacionar con el espesor de la nieve, orientación, régimen de vientos, pendiente del terreno, concavidad y convexidad, etc. No obstante, la cota es la variable más influyente con respecto a la distribución espacial del espesor.

Al multiplicar el espesor de nieve por la densidad de la misma, se obtiene la Columna equivalente de agua (CEA). Teniendo la expresión de cómo varía el espesor de nieve con la altitud y el valor estimado de la densidad (que se considera constante para cada región), se puede obtener una expresión con la que obtener el valor del CEA en función de la cota. Dicha expresión se denomina LEY o CURVA de INNIVACIÓN.

Al ser la nieve un parámetro de precipitación, se puede considerar regionalizado, es decir, que tiene comportamientos muy diferentes e incluso independientes en función de su localización. Se puede afirmar entonces, que cada una de las cuatro cordilleras tiene un comportamiento totalmente distinto. De forma ideal se debería poder obtener una ley de innivación distinta para cada una de las áreas de control nival o cuencas nivales, pero debido al bajo número de puntos de control nival en muchas de estas zonas, se ha optado por utilizar la agrupación de cuencas nivales. Estas regiones presentan características meteoclimáticas homogéneas y el número de puntos de control es lo suficientemente grande para obtener resultados estadísticamente significativos.

El cálculo de las leyes de innivación, se realiza mediante el método estadístico univariable de regresiones lineales/bilineales. Este método busca ajustar una o dos rectas a la nube de puntos generada a partir de los datos de columna equivalente de agua (CEA) obtenidos tras multiplicar los espesores medidos en cada punto de control nival por la densidad media de cada una de las regiones analizadas, en cada campaña de medición realizada. De esta forma se consigue extrapolar los valores de espesor observados en los puntos de control a toda la región a partir de un modelo digital del terreno (es decir, conocida la cota).

Según medidas tomadas en campañas de campo anteriores, en la mayoría de regiones se ha observado que existe una diferencia significativa en la forma de acumulación nival en función de la cota, existiendo una cierta cota a partir de la cual se produce una mayor acumulación con una menor variación de la cota. Este hecho justifica el uso de modelos de regresión bilineal que permiten utilizar una ley de innivación diferente a partir de una cota determinada. Sin embargo, en algunas regiones, el bajo número de datos útiles no permite el ajuste de dos rectas o no se observa este cambio diferencial y se puede optar por el uso de una única recta.

Cálculo final del volumen de agua en forma de nieve

Para cada unidad elemental el Volumen Bruto de Nieve (VBN_i) se puede calcular como el producto de la superficie de la unidad elemental, S , por el espesor de nieve existente en ese punto, $e(z_i)$, tal y como se ilustra en la Figura 4.

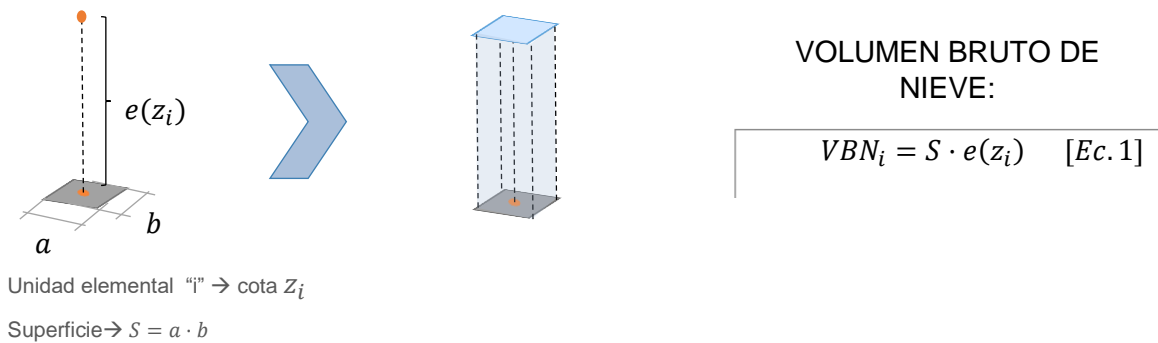


Figura 4. Esquema del proceso de obtención del volumen bruto de nieve para cada unidad elemental

La suma de los volúmenes de nieve brutos, obtenidos para todas las unidades elementales incluidas en un área de control nival, da como resultado el Volumen Bruto de Nieve total VBN_{TOT}^{Ω} en ese área.

$$VBN_{TOT}^{\Omega} = \sum_i^{\Omega} (VBN_i) = \sum_i^{\Omega} (S(z_i) \cdot e(z_i)) \quad [Ec. 2]$$

dónde:

Z: Altitud, en metros sobre el nivel del mar [msnm]

Ω : Extensión del área total evaluada

$e(z_i)$: Espesor de nieve de cálculo correspondiente a la altitud de la Unidad Elemental "i"

$S(z_i)$: Superficie correspondiente a la altitud de la Unidad Elemental "i"

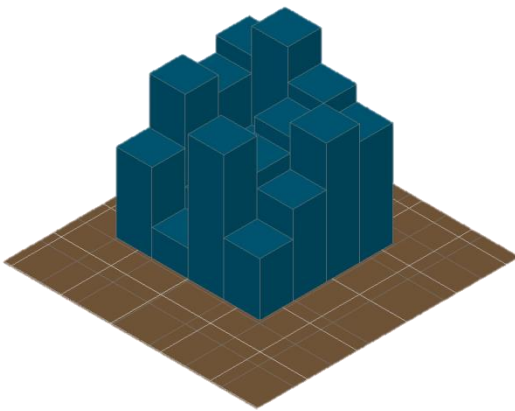


Figura 5. Figura ilustrativa para la obtención del VAFN total a partir del espesor y cota de cada una de las celdas elementales

Finalmente, el VAFN se calcula a partir del producto del VBN_{TOT}^{Ω} y la densidad media del área evaluada ρ_m^{Ω} , tal y como se indica en la Ec.3.

$$VAFN^{\Omega} = VBN_{TOT}^{\Omega} \cdot \rho_m^{\Omega} = \sum_i^{\Omega} (S(z_i) \cdot e(z_i)) \cdot \rho_m^{\Omega} \quad [Ec. 3]$$