Determinación del nivel de peligro de aludes en la predicción regional de aludes

EAWS-Working Group Matrix and Scale

El grupo de trabajo Matrix & Scale recomienda utilizar las definiciones y la clasificación de los factores involucrados en la determinación del nivel de peligro de aludes que se presentan en este documento. En las siguientes secciones se definen el nivel de peligro de aludes y los factores que contribuyen en él: la estabilidad del manto nivoso, la distribución de frecuencias de la estabilidad del manto y el tamaño de aludes. Solo se puede emitir un nivel de peligro de aludes para un área de cierto tamaño. En el capítulo en el que se establece el marco espacial y temporal se incluyen los conceptos y pautas para realizar este proceso. Concluimos con el diagrama de flujo y la Matriz EAWS que se deben utilizar para determinar el nivel de peligro de aludes. Los apéndices proporcionan más detalles y ejemplos sobre estas consideraciones y una descripción del proceso de trabajo.

Nuestro WG incluía a los siguientes miembros: Müller, Karsten (NO, líder del grupo); (en orden alfabético): Bellido, Guillem (AD); Bertranda, Lorenzo (IT); Feistl, Thomas (DE); Mitterer, Christoph (AT); Palmgren, Petter (SE); Sofía, Stefano (IT); Techel, Frank (CH); desde septiembre de 2021: Dufour, Anne y Roux, Nicolas (FR).

Peligro de aludes

El peligro de aludes es la posibilidad de que uno o varios aludes causen daños sobre cualquier bien. (Statham et al., 2018).

Nivel de peligro de aludes

Definición:

> El nivel de peligro de aludes depende de la estabilidad del manto nivoso, la distribución de frecuencias de la estabilidad del manto, y el tamaño de aludes para una unidad dada (área y tiempo). Hay cinco niveles de peligro de aludes: 5-muy fuerte, 4-fuerte, 3-notable, 2-limitado, 1-débil.

Establecimiento del marco espacial y temporal

A la hora de determinar el nivel de peligro de aludes para una región, se deben considerar las siguientes escalas espaciales:

Dominio de predicción

El dominio de predicción es el área de responsabilidad de un servicio de alerta por aludes que emite Boletines de Peligro de Aludes (BPA). El dominio de predicción es generalmente estático para un servicio/operación.

Microrregión

Las microrregiones son las áreas geográficas más pequeñas y claramente delimitadas que se utilizan para evaluar el peligro de aludes. Son estáticas. Además, permiten al usuario que recibe la predicción saber exactamente qué región se describe. Pueden estar delimitadas por límites administrativos (p. ej., límites entre países, regiones y provincias); por regiones climáticas, hidrológicas o meteorológicamente homogéneas; también pueden basarse en divisiones orográficas, o en una combinación de todos estos factores (Techel et al., 2018).

Unidad de referencia

Una unidad de referencia es la entidad espacio-temporal más pequeña en la que se puede evaluar un nivel de peligro de aludes. Una unidad de referencia puede estar delimitada por diferentes elevaciones y/u orientaciones dentro de una microrregión (Figura 1). Deberá ser lo suficientemente grande como para incluir cierta variedad de terreno, de manera que siga teniendo sentido emitir un nivel de peligro de aludes. La unidad de referencia debe definirse y permanecer consistente dentro de un servicio de predicción (e idealmente entre diferentes servicios de predicción).

Región de aviso

Una región de aviso es una unión de microrregiones donde las condiciones que caracterizan los aludes puedan considerarse similares y puedan evaluarse con el mismo nivel de peligro tanto las orientaciones críticas, como las elevaciones donde prevalece

el peligro, los problemas de aludes y la propia descripción del peligro. La forma en que se unen estas microrregiones puede variar de un día a otro. Una región de aviso es igual o menor que el área de predicción e igual o más grande que una microrregión.

Resolución

La resolución espacio-temporal usada para evaluar el peligro de aludes depende principalmente de la disponibilidad de datos relevantes y confiables con una densidad espacial y una frecuencia temporal suficientes. Por lo tanto, la resolución para la evaluación del peligro de aludes variará entre los diferentes servicios de aviso. En general, los elementos que caracterizan la resolución espacio-temporal para determinar el nivel de peligro de aludes son:

- el tamaño de las microrregiones dentro de un área de predicción (Figura 1a),
- la resolución en la elevación y/u orientación (Figura 1b y c), y
- la subdivisión temporal dentro del período válido de un pronóstico (p. ej., por la mañana/por la tarde, Figura 1d).

La resolución de cada uno de estos elementos define la unidad espacial y temporal más pequeña en las que un predictor puede emitir un nivel de peligro de aludes. A esta característica se la denomina unidad de referencia.

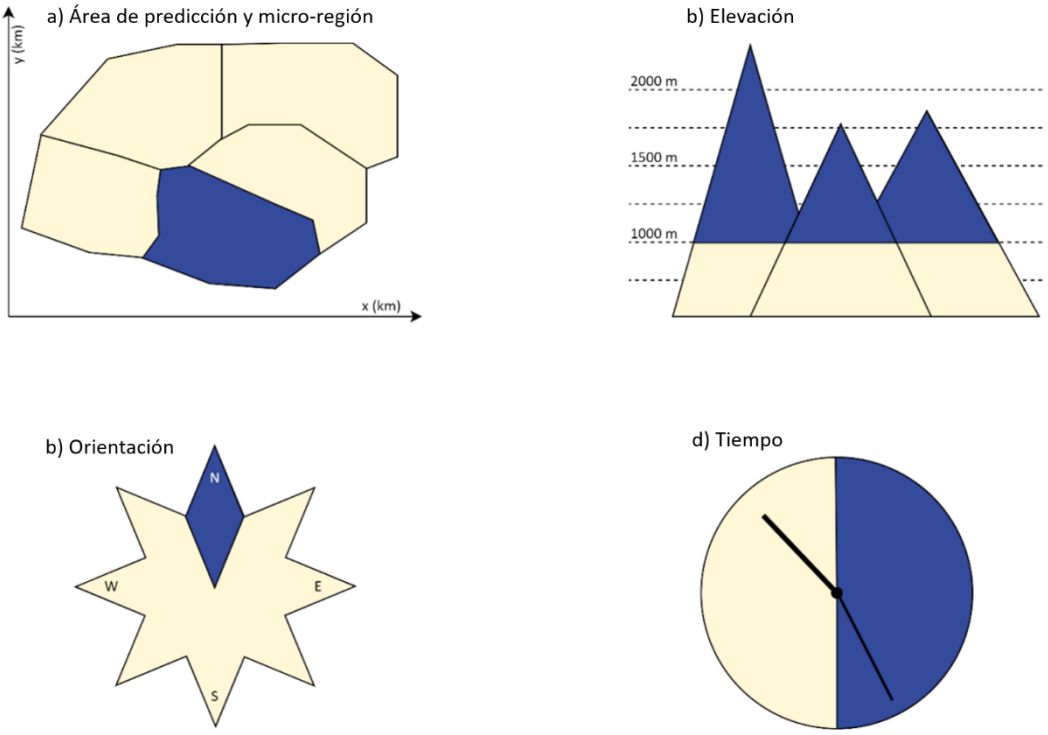

Figura 1: Por lo general, una unidad de referencia se puede caracterizar por la combinación de las subdivisiones más pequeñas de los siguientes elementos: (a) la entidad geográfica más pequeña (la microrregión) dentro de un área de predicción, (b) la resolución de la elevación y (c) la orientación, y (d) una subdivisión temporal. En la figura, se resaltan en azul ejemplos de subdivisiones: el tamaño de una sola microrregión define la extensión espacial; la elevación se resuelve en incrementos de 250 m, aunque ésta se evalúa por encima (y por debajo) de un umbral de elevación; la orientación se divide en ocho sectores, mientras que la subdivisión temporal permite distinguir entre la mañana y la tarde. La combinación de los elementos resaltados en azul sería la unidad de referencia, la entidad espacio-temporal más pequeña en la que se puede evaluar el nivel de peligro de aludes.

Estabilidad del manto nivoso:

Definición:

La estabilidad del manto nivoso es una propiedad local del manto de nieve que da cuenta de la tendencia al desencadenamiento de un alud en una ladera cubierta de nieve (Reuter y Schweizer, 2018). La estabilidad del manto nivoso se clasifica como: muy pobre, pobre, regular y buena.

Observaciones:

1. Según el tipo de alud, la estabilidad del manto nivoso se describe mediante:
   - La iniciación de la fractura, la propagación de fisuras y la tensión interna que soporta la placa (alud de placa) (Reuter y Schweizer, 2018)
   - La pérdida de fuerza/unión (alud de nieve sin cohesión) (p. ej., McClung y Schaerer, 2006)
   - La pérdida de la fricción basal y de la tensión y/o compresión interna de la placa (alud de deslizamiento basal) (p. ej., Bartelt et al., 2012).
2. La estabilidad del manto nivoso está inversamente relacionada con la probabilidad de desencadenamiento de un alud ya que describe lo propenso que es el manto nivoso a desprenderse ante un desencadenante o sobrecarga específico (Statham et al., 2018), como, por ejemplo, una persona esquiando en una ladera. La Tabla 1 muestra la relación entre la estabilidad del manto nivoso y la facilidad con que se desencadena un alud.
3. El término local se refiere a un lugar que varía en tamaño o extensión: desde una posible ubicación de la activación o punto donde se realiza un test de estabilidad hasta una zona de salida.
4. Todas las evaluaciones de la estabilidad del manto nivoso pueden referirse al futuro (pronóstico) o al presente (pronóstico inmediato) en base a las observaciones o los modelos. Por ejemplo, si la estabilidad de un manto de nieve en una zona de desencadenamiento se considera regular hoy y para mañana se espera una capa de nieve nueva, mañana se deberá evaluar la estabilidad del manto teniendo en cuenta la nieve nueva. Probablemente, haya cambiado a pobre o incluso muy pobre en ese momento.

Tabla 1: Clases de estabilidad y desencadenantes típicos asociados a cada estabilidad. Para obtener más ejemplos relacionados con esta clasificación, consultar las Figuras A1 - A3 en el Apéndice A.

Clase de estabilidad	**Facilidad de desencadenamiento de un alud**
Muy pobre	Natural/Muy fácil de desencadenar.
Pobre	Fácil de desencadenar (p.ej. un único esquiador).
Regular	Difícil de desencadenar (p.ej. explosivos).
Buena	Condiciones estables.

Distribución de frecuencias de la estabilidad del manto nivoso:

Definición

La distribución de la frecuencia de la estabilidad del manto nivoso describe el porcentaje de puntos para cada tipo de estabilidad relativo al conjunto del terreno de aludes. Así, la frecuencia f para todos los puntos con clase de estabilidad i (n_i) en comparación con todos los puntos (n) es $f(i) = n_i/n$. La distribución de la frecuencia de la estabilidad del manto nivoso se clasifica según cuatro tipos: muchos, algunos, pocos y ninguno o casi ninguno (Tabla 2).

1. La distribución de frecuencias de la estabilidad del manto nivoso viene referida a (muchos) puntos (es decir, puntos donde se han realizado test de estabilidad, puntos donde se evalúan modelos nivológicos – p.ej. *snowpack* – o ubicaciones potenciales de desencadenamiento) o zonas de salida de avalanchas.
2. La frecuencia debe evaluarse para una región de aviso, que debe ser igual o mayor que la unidad de referencia.
3. La definición pide, en teoría, un porcentaje. Sin embargo, en numerosas ocasiones esto es imposible de evaluar ya que la distribución de frecuencias en una situación real a menudo debe deducirse a partir de unos pocos datos. Los porcentajes o umbrales para muchos, algunos, pocos y ninguno o casi ninguno, difieren según el tipo de medición/evidencia utilizada o disponible. Por ejemplo, los porcentajes de pendientes que producen aludes naturales pueden ser más bajos que el porcentaje de puntos con test de estabilidad que indican una estabilidad muy pobre.

Tabla 2: Clase de distribución de frecuencias de la estabilidad del manto

Clase de frecuencia	**Descripción**	**Evidencia (p.ej. observaciones)**
Muchos	Los puntos con este tipo de estabilidad son abundantes.	La evidencia de inestabilidad a menudo es fácil de encontrar.
Algunos	Los puntos con este tipo de estabilidad no son ni muchos ni pocos, pero típicamente existen en zonas del terreno que tienen características comunes (p.ej. cerca de las crestas, barrancos…).	
Pocos	Los puntos con este tipo de estabilidad son raros, aunque su número es relevante como para tenerlo en cuenta en la evaluación de la estabilidad.	La evidencia de inestabilidad es difícil de encontrar.
Ninguno o casi ninguno	Los puntos con este tipo de estabilidad no existen, o son tan raros que no se consideran relevantes para la evaluación de la estabilidad.	

Tamaño de Aludes:

Definición

El tamaño de aludes describe el potencial destructivo de los aludes.

Para responder a la pregunta de ¿Cómo pueden llegar a ser de grandes los aludes? Se debe tener en cuenta la Tabla 3.

Tabla 3: Descripción de los tamaños de aludes. Para una descripción más detallada ver EAWS (2022).

Tamaño	Nombre	Potencial destructivo
1	Pequeño	Es poco probable que llegue a enterrar a una persona, excepto en zonas de depósito con terreno desfavorable (terreno trampa).
2	Mediano	Puede enterrar, herir o matar a una persona.
3	Grande	Puede enterrar y destruir coches, dañar camiones, destruir pequeños edificios y romper algunos árboles.
4	Muy grande	Puede enterrar y destruir camiones y trenes. Puede destruir edificios bastante grandes y pequeñas áreas de bosque.
5	Extremadamente grande	Puede devastar el paisaje y tiene un potencial destructivo catastrófico.

Diagrama de flujo para determinar el nivel de peligro de aludes

El diagrama de flujo, Tabla 4, describe el camino a seguir partiendo de una valoración de los problemas de aludes detectados hasta llegar al establecimiento del nivel de peligro de aludes asignado a una región de aviso. Se deben considerar todos los problemas de aludes y evaluar la estabilidad del manto nivoso, la frecuencia y el tamaño de los aludes. Finalmente se comunicará el nivel de peligro resultante más alto para la región de aviso dada.

Tabla 4: Diagrama de flujo para determinar el nivel de peligro de aludes. Consulte también el gráfico del Apéndice E.

Tarea		**Explicación y comentarios**
1	Evaluar los problemas de aludes presentes.	Elegir entre los problemas de aludes definidos por la EAWS (EAWS 2022)
Si no existen problemas de aludes, el nivel de peligro de aludes es 1-débil.		
2	Para cada problema de aludes identificado, evaluar las ubicaciones (cota y orientación) y los momentos del día donde se presentará el problema.	
3	Evaluar la estabilidad del manto de nieve para los lugares y momentos del día.	La estabilidad del manto está relacionada con la pregunta: ¿Qué es necesario para que se desencadene un alud? Es habitual que los lugares con menor estabilidad sean decisivos.
4	Valorar la frecuencia para la clase de estabilidad escogida.	La frecuencia está relacionada con la pregunta: ¿Cómo de frecuentes son los puntos donde se pueden desencadenar aludes según el tipo de estabilidad?
5	Determinar el tamaño de aludes.	El tamaño de aludes está relacionado con la pregunta: ¿Cómo de grandes pueden llegar a ser los aludes? A menudo es decisivo el tamaño de alud más grande que pueda considerarse como probable.
En caso de que la estabilidad del manto, la frecuencia y/o el tamaño de aludes varíen considerablemente entre orientaciones y/o elevaciones y/o durante el período de pronóstico, se deberán repetir los pasos del 3 a 5 para identificar las ubicaciones/horas con la combinación más severa de estos tres factores.		
6	Consultar la nueva Matriz EAWS y obtener el nivel de peligro para la combinación de estabilidad, frecuencia y tamaño de aludes seleccionados en los pasos del 3 a 5.	
Repetir los pasos del 2 al 6 para el resto de los problemas de aludes presentes.		
7	Elegir el nivel de peligro más alto obtenido en el paso 6.	

Matriz EAWS

La nueva Matriz EAWS (Fig. 2) se aplica para determinar el nivel de peligro de aludes basándose en la estabilidad del manto, en la frecuencia de la estabilidad del manto y en el tamaño de aludes.

El usuario evalúa los tres factores: la estabilidad del manto nivoso, la frecuencia de la estabilidad del manto y el tamaño de aludes de acuerdo con el diagrama de flujo descrito anteriormente y luego selecciona la celda correspondiente dentro de la matriz.

La nueva Matriz EAWS se obtuvo a través de una encuesta realizada a un grupo de predictores. Cada celda incluye el valor entero del nivel de peligro medio asignado por los predictores en cada nivel de peligro (por ejemplo, 1 para 1 (débil)). No obstante, hay algunas celdas que contienen dos niveles de peligro. Estos casos corresponden a aquellas situaciones en las que la distribución de respuestas fue bastante heterogénea, por lo que se decidió incluir un segundo nivel de peligro entre paréntesis cuando el rango intercuartílico (RIQ)[1] difería del nivel de peligro medio.

Cuando se utilice la Matriz EAWS de la Figura 2, se deberá elegir el primer nivel de peligro dado en la celda. Un nivel de peligro opcional en paréntesis indica que los predictores pueden estar en desacuerdo y muestra una tendencia hacia un segundo nivel de peligro. Estas celdas deben considerarse con cautela y es necesario recoger información de retorno para una evaluación futura.

Como ejemplo, si el predictor determina que el problema de aludes dominante se describe mejor por los factores de *estabilidad pobre* en *muchas laderas* y es probable que se desencadenen aludes de hasta *tamaño 3*, el resultado sería un nivel 4-Fuerte.

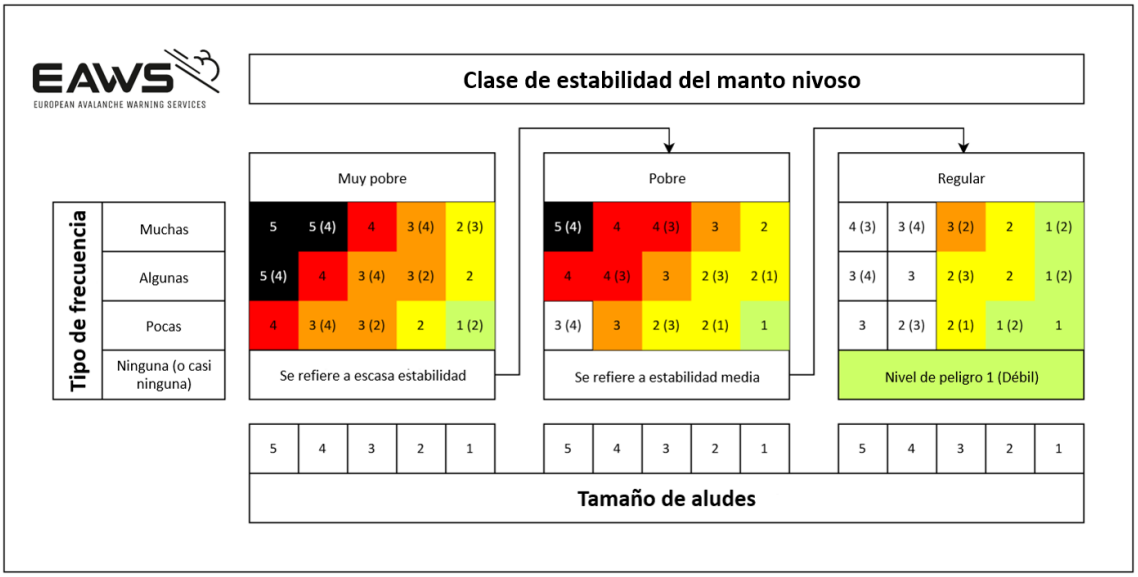

Figura 2. Matriz EAWS actualizada basada en la metodología descrita en el Apéndice D. El diseño es preliminar y se eligió para acomodar todas las combinaciones posibles de estabilidad del manto nivoso, frecuencia y tamaño de aludes.

[1] *El Rango Intercuartílico (RIQ) es una medida estadística que cuantifica la dispersión de la muestra considerada, es decir, la variabilidad de la distribución de los elementos muestrales en base a algún parámetro de interés. Para calcular el RIQ de una serie de datos primero se deben encontrar el primer y el tercer cuartil del conjunto de datos, y luego se calcula la resta del tercer cuartil menos el primer cuartil: RIQ = Q_3 - Q_1.*

ANEXO A: Estabilidad del manto nivoso.

Las Figuras A-1, A-2 y A-3 proporcionan una descripción general de la relación que hay entre los tipos de estabilidad del manto nivoso y los fenómenos u observaciones típicas.

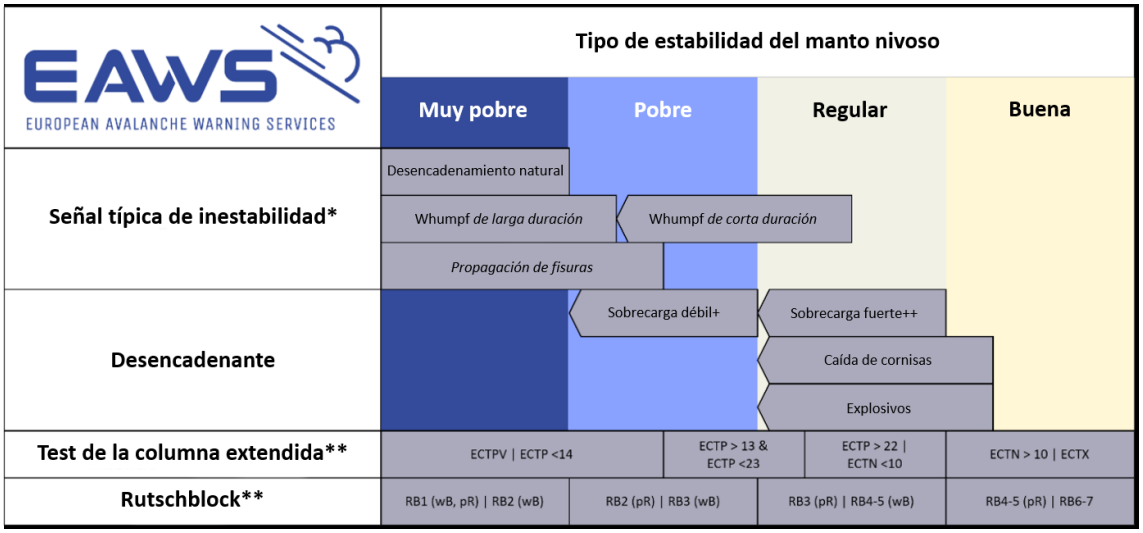

Figura A-1. Evidencias o indicaciones comunes de las clases de estabilidad del manto nivoso que caracterizan los aludes de placa de nieve seca. Las flechas indican una tendencia hacia una disminución de la estabilidad. Los aludes naturales o espontáneos son una indicación clara de una inestabilidad muy pobre, mientras que una sobrecarga adicional débil y fuerte se consideran aproximadamente equivalentes a una estabilidad pobre y regular.
Las observaciones y los resultados de los test de estabilidad deben considerarse únicamente como indicativos. Abreviaturas: Test de la columna extendida (ECT), Rutschblock (RB), bloque completo (wB), liberación parcial (pR). ⁎Schweizer et al. (2021), ⁎⁎Techel et al. (2020)a, +un único esquiador sin caerse, ski-cut, ++un único esquiador que se cae, grupo de esquiadores, persona a pie.

Para la estabilidad de nieve húmeda y deslizamientos basales suele ser complicado diferenciar entre estabilidad regular y pobre. Los aludes de nieve húmeda se desencadenan con mayor frecuencia de forma natural, por lo que están asociados a un tipo de inestabilidad muy pobre. Hay que tener en cuenta que las observaciones a menudo solo proporcionarán una tendencia hacia una estabilidad buena o muy pobre (Figuras A-2 y A-3). Además, los test de estabilidad generalmente funcionan mal en nieve húmeda. Si indican estabilidad muy pobre aún se podrán tener en cuenta, pero no al contrario.

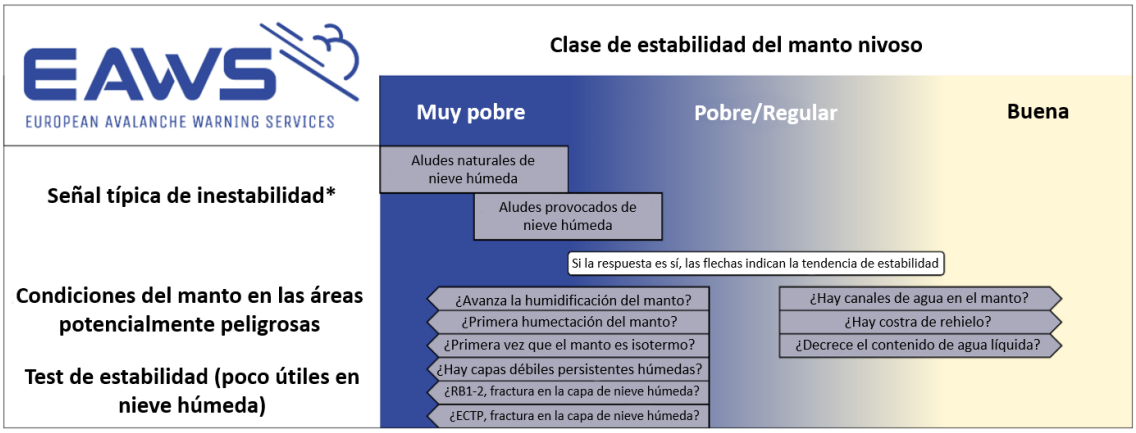

Figura A-2. Evidencias o señales comunes relacionadas con la estabilidad de la nieve húmeda. Los aludes de nieve húmeda no son posibles si no hay agua líquida en el manto de nieve.

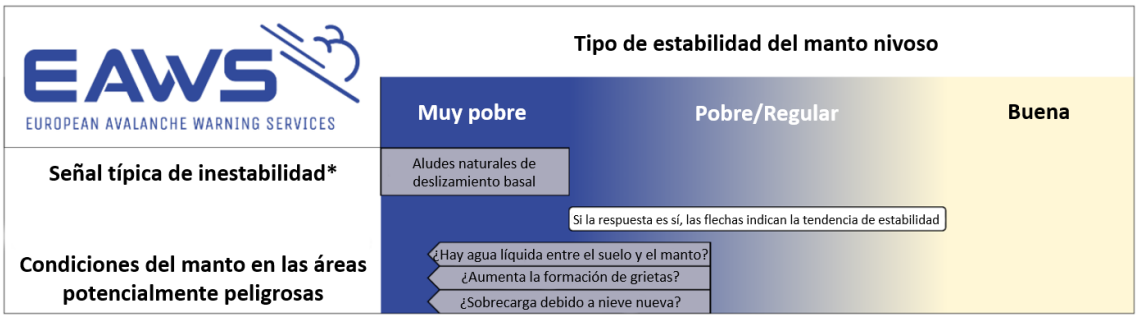

Figura A-3: Evidencia o señales comunes relacionadas con la estabilidad en deslizamientos basales. Los deslizamientos basales no son posibles si no hay agua líquida presente en la interfaz de la nieve-suelo.

En la Tabla A-1 se compara las clases de estabilidad del manto tal y como se definen en este documento con otras clasificaciones de estabilidad presentes en la literatura.

Estabilidad del manto nivoso (EAWS	**Estabilidad de la nieve (CAA, 2014; Greene at al. 2014)**	**Sensibilidad a los desencadenantes (Statham et al., 2018, Tabla 5)**			
		Sensibilidad	**Desencadenantes humanos**	**Desencadenantes explosivos**	**Desencadenantes debido a cornisas**
Muy pobre	Muy pobre	Delicado	Desencadenamiento casi seguro	Cualquier tamaño	Cualquier tamaño
Pobre	Pobre	Reactivo	Fácil realizando un corte con esquís	Carga manual única	Mediana
Regular	Regular	Resistente	Difícil de desencadenar	Grandes cargas y grandes ondas expansivas	Grande
Buena	Buena	No reactivo	Sin aludes		Sin desencadenamientos pese a caídas de cornisas muy grandes

Tabla A-1: Descripción general de las clases de frecuencia de estabilidad del manto comparada con los factores que describen la sensibilidad al desencadenamiento del Conceptual Model of Avalanche Hazard (CMAH). Se han despreciado las columnas del CMAH que incluían una componente espacial, porque pensamos que la estabilidad y su frecuencia correspondiente deberían estar desacopladas.

ANEXO B: Consideraciones a la hora de asignar la clase de distribución de frecuencias de la estabilidad del manto nivoso.

La Figura B-1 ilustra el concepto de distribución de frecuencias en un caso idealizado.

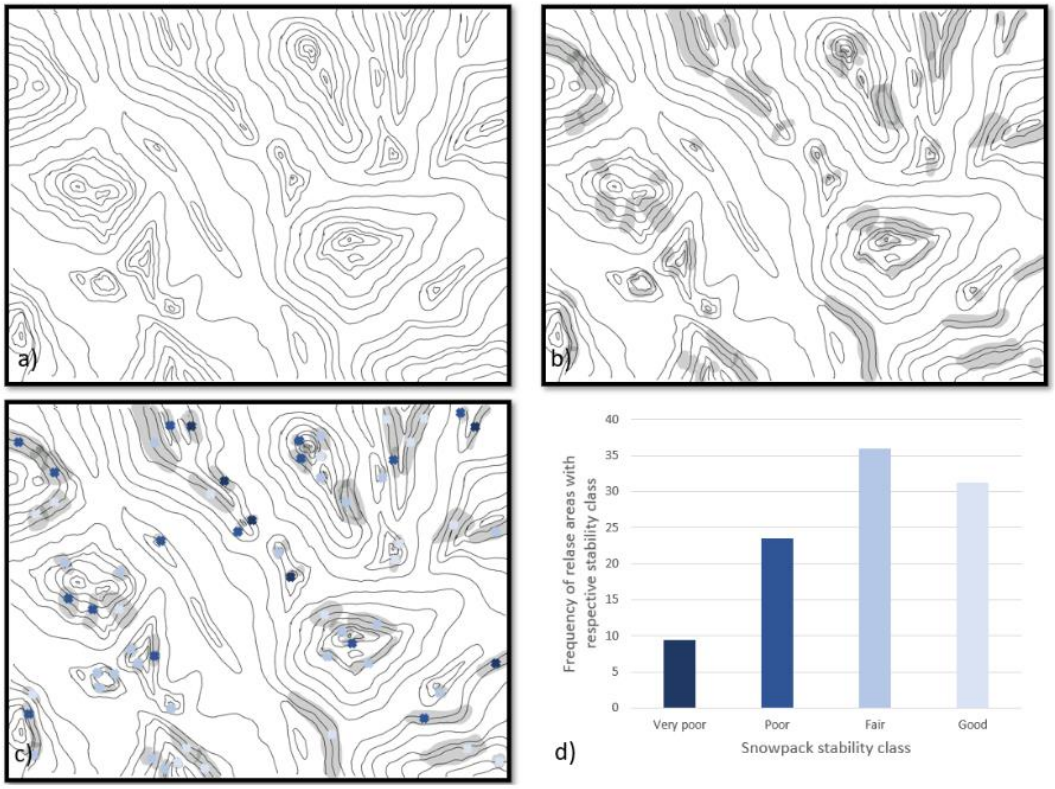

Figura B-1: Ilustración de la distribución de frecuencias. Consideramos un hipotético escenario ideal donde es posible la evaluación de la estabilidad del manto en las zonas de desencadenamiento. Aquí, nuestra microrregión está definida por el mapa contorneado del panel a). Para simplificar, elegimos que la unidad de referencia sea igual a la microrregión. Así, se consideran todos los puntos de las zonas de salida dentro de la región, independientemente de la elevación, la exposición u otras subdivisiones posibles (Panel b). El panel c) muestra el tipo de estabilidad que se evalúa en cada punto. El panel d) muestra la distribución de frecuencias resultante de esas clases de estabilidad. Por lo general, para determinar el nivel de peligro se tendrá en cuenta la frecuencia del tipo de estabilidad más desfavorable, que en este caso es muy pobre.

El reto de asignar porcentajes o decidir umbrales entre diferentes clases de frecuencia ha sido muy debatido, sin embargo, aún no se tiene una respuesta clara.

Pocos predictores o profesionales de aludes disponen de datos suficientes que sean concluyentes y estén distribuidos uniformemente en las zonas de desencadenamiento relevantes de la región que están evaluando. Por lo tanto, asignar una clase de frecuencia seguirá siendo una decisión basada en el criterio de experto y la experiencia. Creemos que es necesario evaluar muchos más datos, junto con campañas de verificación, antes de poder ofrecer buenas respuestas. En los siguientes párrafos enumeramos algunos estudios que intentaron, de una u otra forma, cuantificar la distribución de la frecuencia de la estabilidad del manto nivoso. Los valores que ofrecemos son, actualmente, las mejores estimaciones que tenemos para describir la

distribución de la frecuencia de la estabilidad del manto de nieve. Tienen bases diferentes, y no pueden compararse directamente ni combinarse para describir clases uniformes. En el futuro será necesario realizar más estudios de este tipo para ofrecer porcentajes fiables de la frecuencia de la estabilidad del manto nivoso.

Tests de estabilidad (Rutschblock):

Clases de frecuencia deducidas por Techel et al. (2020b) para la frecuencia del tipo de estabilidad *muy pobre* de Rutschblock:

- ***Ninguno o casi ninguno 0%***
- ***Pocos: >0% - <4%***
- ***Algunos: 4% - 20%***
- ***Muchos: >20%***

Actividad de aludes (1):

La actividad de aludes, tal y como se observa en imágenes de satélite de Suiza en dos situaciones extremas de aludes en enero de 2018 y enero de 2019 (Hafner, 2019): La proporción de áreas potencialmente activas y que tuvieron actividad (es decir, donde se produjeron aludes) varió para un subconjunto de 13 microrregiones entre un 4% y un 23%, con una media de 13%. Estas microrregiones ocupaban una superficie de entre 56 y 506 km^2, mientras que el área potencial de desencadenamiento dentro de estas microrregiones cubría entre 21 y 159 km^2 de su superficie. Cuando únicamente se consideraron las dos orientaciones de unos 45° más activas dentro de estas regiones (por ejemplo, de NW – N – NE), se observó que era activa un máximo del 41 % del área total de desencadenamiento. Se puede considerar que estas cifras representan valores altos para el término *muchos*.

Actividad de aludes (2):

En un estudio basado en un conjunto de datos de 15 años de aludes naturales cartografiados manualmente en la región de Davos, Suiza (Völk, 2020), se obtuvieron los siguientes tipos de frecuencias utilizando el método descrito por Techel et al. (2020b) para determinar la proporción de áreas de desencadenamiento potencial que estuvieron activas (donde hubo aludes):

- ***Pocos: <0.02%***
- ***Algunos: 0.02-2.2%***
- ***Muchos: >2.2%***

Hay que tener en cuenta que el método del mapeo tiene una tasa de detección comparativamente pobre (Hafner et al. 2021). Como estimación, estos umbrales para definir una clasificación pueden ser demasiado bajos por un factor de ~2.

ANEXO C: Tamaño de aludes

Para determinar el nivel de peligro de aludes a través de la matriz, se debe utilizar el mayor tamaño de aludes probable que pueda desencadenarse bajo unas condiciones dadas o esperadas. Por ejemplo, para una situación que podría describirse como: “Si se desencadenan aludes, éstos son probables de hasta tamaño 3”. En este caso no se esperaría *ningún o casi ningún alud* de tamaño 4 y 5, en cambio, en este escenario sí que consideramos probable que puedan producirse aludes de tamaño 1, 2 y 3. Por lo tanto, elegimos el mayor de ellos, en este caso el tamaño 3 (ver la siguiente tabla).

Tamaño del alud	Si se desencadena aludes naturales o provocados, el tamaño es…	
	Probable	No probable
5		X
4		X
3	X	
2	X	
1	X	

ANEXO D: Metodología seguida para la revisión de la Matriz EAWS.

La EAWS asignó al grupo de trabajo (WG) Matrix & Scale la tarea de revisar las definiciones de los factores que contribuyen al peligro de aludes, tal y como como se describe en las secciones anteriores de este documento. Esto implicó una revisión de la matriz EAWS que estaba en vigor en ese momento (versión 2017) para que tuviera en cuenta estas nuevas definiciones.

Las versiones de la matriz de nivel de peligro anteriores, la llamada "matriz bávara" (EAWS, 2005) y su sucesora, la "Matriz EAWS" (EAWS, 2017), se desarrollaron basándose en el conocimiento conjunto de los predictores de aludes de la EAWS. Sin embargo, no se documentó el proceso de cómo se determinó el nivel de peligro de cada celda en función de las opiniones individuales de cada predictor.

A continuación, se va a describir la metodología utilizada para obtener la Matriz EAWS revisada.

Metodología

El método que siguió el WG fue el de combinar muchas opiniones de expertos debido a que, por lo general, el número de datos que proporcionan una descripción cuantitativa de los niveles de peligro es muy bajo. Este enfoque es particularmente adecuado en los casos en que se carece de datos apropiados (p. ej., Rowe y Wright, 2001). En otras palabras, se ha confiado en el conocimiento y experiencia de los predictores de aludes, tal y como se ha hecho en las versiones anteriores de la matriz, pero en lugar de trabajar con un pequeño grupo de predictores, se ha decantado por un grupo heterogéneo y más numeroso.

En este proceso, se ha considerado que los predictores experimentados de EAWS son igualmente competentes para el objetivo del WG, ya que disponen de suficientes conocimientos. Este enfoque fue motivado por el hecho de que el juicio combinado de un grupo de expertos es generalmente más preciso que el individual, en el caso de que no haya interacción entre los individuos que emiten un juicio (p. ej., Stewart, 2001). Además, al ofrecer a los integrantes de la EAWS la posibilidad de participar, se espera una mayor aceptación de la matriz propuesta.

Es por ello que invitamos a los predictores de EAWS a proporcionar su versión de la matriz considerando la nueva terminología y definiciones.

Encuesta:

Se ha distribuido la matriz en forma de encuesta con las siguientes instrucciones:

Los predictores deben asignar un nivel de peligro a la combinación de los elementos que describen la estabilidad del manto de nieve, la distribución de frecuencias de la estabilidad del manto y el tamaño de alud. Como ejemplo, se muestra el método seguido para asignar un nivel de peligro a un escenario que podría describirse como: “Existen muchos lugares con poca estabilidad. En caso de que se desencadenes aludes, es probable que puedan llegar a ser de tamaño 3”.

1. Comenzando con las combinaciones más desfavorables, los predictores primero tuvieron que asignar un nivel de peligro a todos los tamaños de aludes posibles que podían relacionarse con una *estabilidad muy pobre* (generalmente asociada con los aludes naturales).
2. En un segundo paso, los predictores tuvieron que considerar como tipo de estabilidad decisiva el de *estabilidad pobre*. Esto significaba que los predictores tenían que asumir que la frecuencia de los lugares con un tipo de *estabilidad muy pobre* era nula o casi nula (o como máximo unas pocas zonas).
3. Por último, los predictores hicieron lo mismo con la *estabilidad regular*. Si los predictores consideraban que un nivel de peligro no era plausible, o si no sabían qué nivel de peligro asignar, se les aconsejó que dejaran esa celda vacía. Si los predictores no estuvieran seguros entre dos niveles de peligro, podrían indicar un primer y un segundo nivel de peligro.

Durante este proceso, se instruyó a los predictores para que hicieran esta tarea de manera independiente, ya que era importante que los niveles de peligro que asignaran a combinaciones específicas de estabilidad, frecuencia y tamaño de aludes no se debatieran entre ellos antes de que enviaran su decisión al miembro específico del WG.

Se fijó la fecha límite para enviar respuestas el 5 de mayo, y así poder preparar los documentos para la Asamblea General de EAWS en Davos en 2022. Continuaremos recopilando respuestas para futuras consideraciones después de la AG.

Respuesta de la matriz:

1. Los miembros del WG completaron una matriz en una reunión en 2019 y nuevamente en 2022 (N = 5 y 9, respectivamente). En ambas versiones se siguió la metodología de test-retest (e.g., Ashton, 2000) para obtener unas estimaciones más fiables a la hora de valorar el nivel de peligro. En la segunda reunión también valoró la hoja distribuida a otros predictores.
2. Se invitó a todos los predictores de aludes poniéndose en contacto por correo utilizando a través de la lista de correo de EAWS y/o con los jefes de los servicios de alerta para proporcionar su versión de matriz (N = 60).
3. Cuando estuvieron disponibles, se incluyeron estudios cuantitativos (N = 2; datos suizos: Techel et al., 2020b, Hutter et al., 2021).

Country	N	Country	N	Country	N
Andorra	3	Germany	5	Romania	1
Austria	4	Great Britain	7	Slovenia	1
Czech Republic	0	Iceland	0	Slovakia	0
		Italy	18	Spain	5
Finland	0	Norway	15	Switzerland	8
France	7	Poland	0	Sweden	2
				Total	**76**

Tabla D-1: Número de respuestas recibidas.

Análisis:

El WG se decantó por la opción de combinar las diferentes versiones de la matriz antes de que los predictores de la EAWS enviaran sus respuestas, de manera que optó por calcular el nivel de peligro medio para cada combinación de estabilidad, frecuencia y tamaño de alud. Además, se pudo comprobar que ese valor coincidía con la opinión mayoritaria, en la línea con lo establecido a la hora de combinar juicios de expertos (p. ej., Dietrich y Spiekerman, 2022).

Las respuestas se ponderaron de la siguiente manera:

- Si los predictores indicaban un nivel de peligro, este nivel de peligro se ponderaba con 100.
- Si los predictores indicaban dos niveles de peligro, el primer nivel de peligro se ponderaba con 67 y el segundo con 33.

Matriz EAWS revisada a partir de 2022: contenido y fiabilidad del contenido:

La Figura D-1 muestra la matriz basada en las 76 respuestas. La misma matriz, aunque con un diseño diferente, se muestra en la Figura 2 del documento principal. Para cada combinación de estabilidad del manto, frecuencia y tamaño de alud, se muestran los siguientes valores:

- El nivel de peligro medio se indica mostrando el valor entero para cada nivel de peligro (p. ej., 1 para 1 (débil)). Si la distribución de las respuestas fuera heterogénea, se muestra un segundo nivel de peligro entre paréntesis, que representa el rango intercuartílico, si este nivel de peligro fuera diferente del nivel de peligro medio.
- El código de colores de una celda corresponde al nivel de peligro medio.
- Las combinaciones a las que se asignó un nivel de peligro en un porcentaje ≤70% de los casos (Fig. D-1), tienen un fondo blanco, aunque se muestra el nivel de peligro medio. Estas celdas representan combinaciones a las que muchos predictores no se sintieron cómodos asignando un nivel de peligro. Estas tienen un apoyo bastante bajo (Fig. D-1).

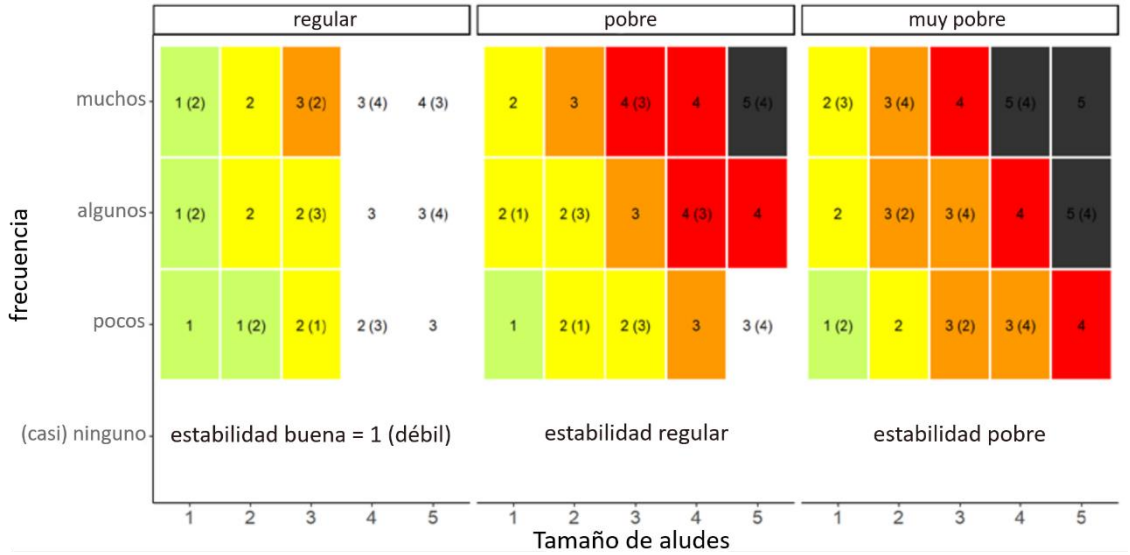

Figura D-1: Matriz EAWS (v2022). Tabla y título a actualizar. Para más detalles consulte el texto.

Es natural que existan diferencias en los juicios emitidos por los expertos. Tales variaciones pueden ser debidas a las diferentes percepciones sobre el significado de los términos o en las imágenes mentales de los niveles de peligro. A continuación, se muestran brevemente algunos hallazgos que resaltan las incertidumbres con respecto a los niveles de peligro asignados por los encuestados y en la matriz final asociada.

Se aconsejó a los predictores que únicamente completaran las celdas en las que se sintieran cómodos asignando un nivel de peligro. Además, con el objetivo de aumentar la tasa de participación, se consideró opcional asignar la clase de estabilidad regular. En promedio, los encuestados proporcionaron un valor para el nivel de nivel de peligro en el 85 % de las 45 combinaciones posibles. La Figura D-2 muestra para cada combinación la proporción de posibles respuestas que han asignado un nivel de peligro. Más del 95% de los predictores (al menos 72 de los 79 encuestados) asignaron un nivel de peligro en 17 de las 30 combinaciones con estabilidad muy pobre y pobre. La estabilidad regular, en combinación con el tamaño de aludes 5 (≤50%) o el tamaño 4 (≤66%) tuvo la menor tasa de respuesta y, en consecuencia, una mayor incertidumbre relacionada con el nivel de peligro medio.

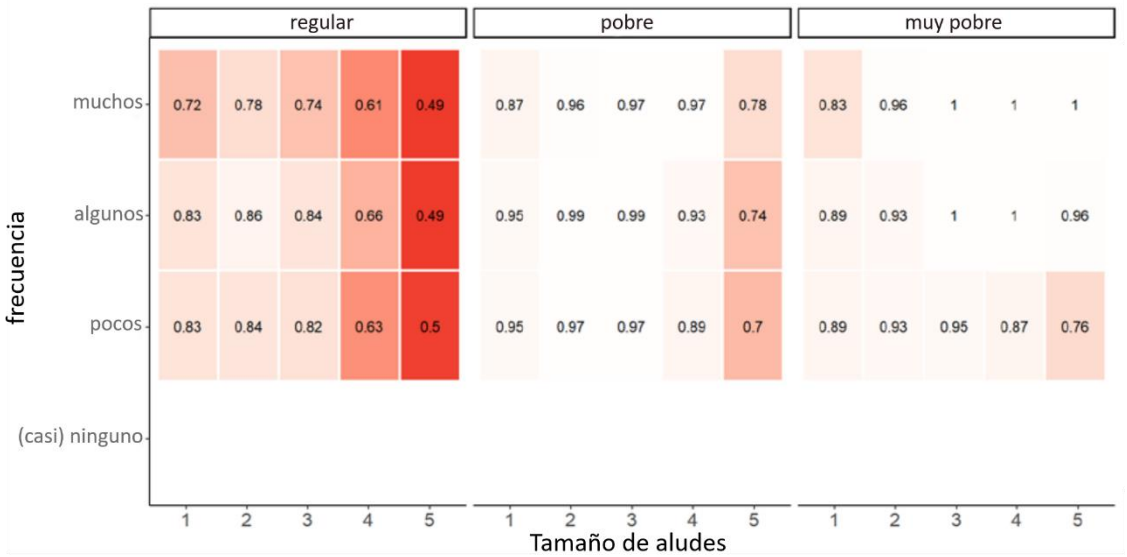

Figura D-2: Proporción de respuestas indicando un nivel de peligro para cada una de las combinaciones de estabilidad – frecuencia - tamaño de aludes. Los colores claros corresponden a combinaciones con una proporción alta (es decir, siempre se indicó un nivel de peligro para muy pobre - muchos - tamaño 5), los colores oscuros a proporciones comparativamente bajas (es decir, en torno al 50 % de las respuestas no indicaron un nivel de peligro para estabilidad regular - tamaño de aludes 5).

Los encuestados tenían la opción de indicar un nivel de peligro o dos si no estaban seguros. El 64% de las veces se indicó un nivel de peligro y el 36% de las veces dos niveles de peligro contiguos. Esto nos indica que a veces es difícil asignar un nivel de peligro específico a una combinación de estabilidad, frecuencia y tamaño de aludes.

La Figura D-3 muestra la proporción o el peso asignado al nivel de peligro medio (ver matriz en la Figura D-1). En 12 de las 45 (27 %) combinaciones, el nivel de peligro más frecuente obtuvo un peso ≥75 %, lo que indica un bajo número de casos con dos niveles de peligro y/o una alta concordancia entre los predictores. Solo dos celdas tenían

valores de >95%. Por contra, también hubo seis celdas (13 %) en las que hubo un consenso bastante bajo en la asignación del nivel de peligro más frecuente (peso <55 %).

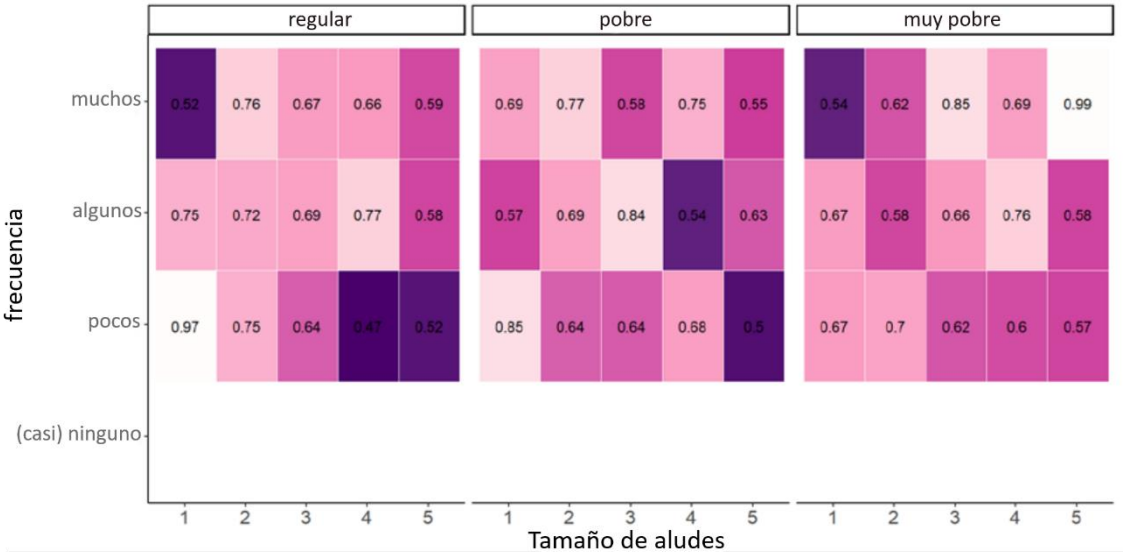

Figura D-3: Proporción de respuestas que indican el nivel de peligro más frecuente (igual a la mediana de la Figura D-1) para cada una de las combinaciones de estabilidad - frecuencia - tamaño de aludes. Los colores claros corresponden a una proporción alta (es decir, prácticamente hubo consenso para muy mala - muchos - tamaño 5), mientras que los colores oscuros reflejan un acuerdo comparativamente bajo (es decir, el 54% de las respuestas indicaron 2 (moderado) para muy pobre - muchos - tamaño 1).

ANEXO E: Diagrama de flujo

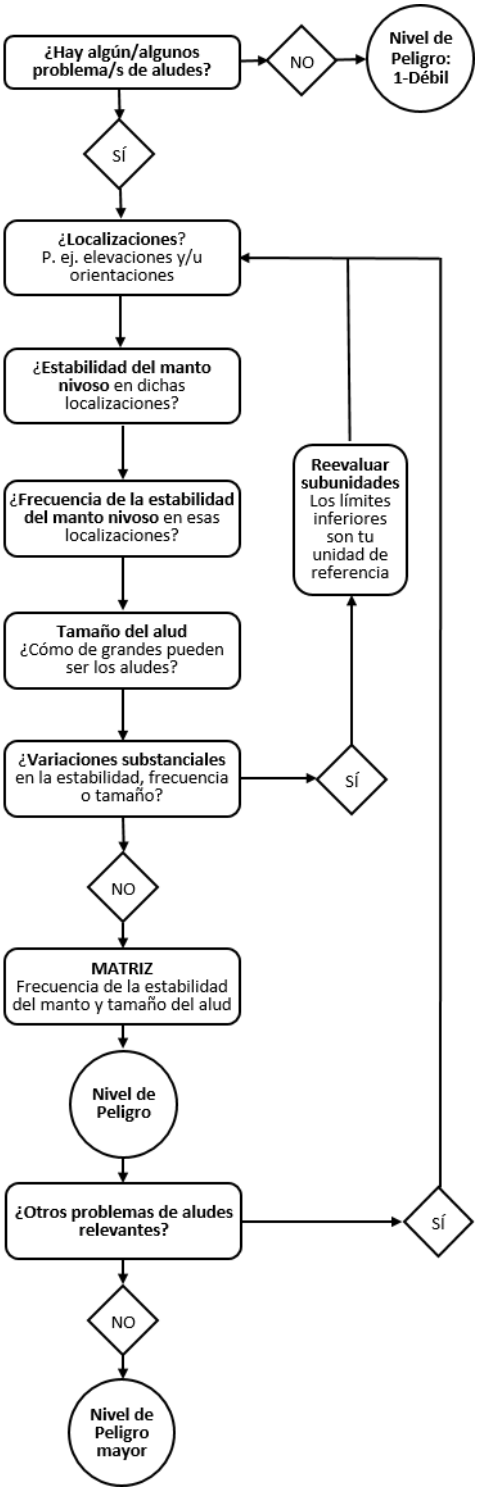

Figura 3. Diagrama de flujo para para determinar el nivel de peligro de aludes

Referencias

Ashton, R.H., 2000. A review and analysis of research on the test–retest reliability of professional judgment. Journal of Behavioral Decision Making 13, 277–294. doi:10.1002/1099-0771(200007/09)13:3<277::AID-BDM350>3.0.CO;2-B.

Bartelt, P., Feistl, T., Bühler, Y., Buser, O., 2012. Overcoming the stauchwall: Viscoelastic stress redistribution and the start of full-depth gliding snow avalanches. Geophysical Research Letters 39. doi:https://doi.org/10.1029/2012GL052479.

Bühler, Y., Hafner, E.D., Zweifel, B., Zesiger, M., Heisig, H., 2019. Where are the avalanches? Rapid SPOT6 satellite data acquisition to map an extreme avalanche period over the Swiss Alps. The Cryosphere 13, 3225–3238. URL: doi: 10.5194/tc13-3225-2019.

Bühler, Y., von Rickenbach, D., Stoffel, A., Margreth, S., Stoffel, L., Christen, M., 2018. Automated snow avalanche reléase area delineation – validation of existing algorithms and proposition of a new object-based approach for large-scale hazard indication mapping. Natural Hazards and Earth System Sciences 18, 3235–3251. doi:10.5194/nhess-18-3235-2018.

CAA, 2014. Observation guidelines and recording standards for weather, snowpack and avalanches. Canadian Avalanche Association. NRCC Technical Memorandum No. 132.

Dietrich, F., Spiekermann, K., 2022. Jury Theorems, in: Zalta, E.N. (Ed.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Summer 2022 ed. Metaphysics Research Lab, Stanford University. Last access: 3 May 2022.

EAWS, 2005. Bavarian matrix.

EAWS, 2017. EAWS Matrix. Technical Report. URL: https://www.avalanches.org/standards/eaws-matrix/. last access: 13 May 2022.

EAWS, 2019. Standards: avalanche size. URL: https://www.avalanches.org/standards/avalanche-size/. last access: 13 May 2022.

EAWS, 2021. Standards: Avalanche problems. URL: https://www.avalanches.org/standards/avalanche-problems/. Last access: 13 May 2022.

Hafner, E.D., Techel, F., Leinss, S., Bühler, Y., 2021. Mapping avalanches with satellites – evaluation of performance and completeness. The Cryosphere 15, 983–1004. URL: https://tc.copernicus.org/articles/15/983/2021/, doi:10.5194/tc-15-983-2021.

Hutter, V., Techel, F., Purves, R.S., 2021. How is avalanche danger described in textual descriptions in avalanche forecasts in Switzerland? Consistency between forecasters and avalanche danger. Natural Hazards and Earth System Sciences 21,3879–3897. doi:10.5194/nhess-2021-160.

Reuter, B., Schweizer, J., 2018. Describing snow instability by failure initiation, crack propagation, and slab tensile support. Geophysical Research Letters 45, 7019 – 7029. doi:10.1029/2018GL078069.

Rowe, G., Wright, G., 2001. Expert opinions in forecasting: The role of the Delphi technique. Springer US, Boston, MA. pp.125–144. doi:10.1007/978-0-306-47630-3_7.

Schweizer, J., Camponovo, C., 2001. The skier's zone of influence in triggering slab avalanches. Annals of Glaciology 32,314–320. doi:10.3189/172756401781819300.

Schweizer, J., Mitterer, C., Reuter, B., Techel, F., 2021. Avalanche danger level characteristics from field observations ofsnow instability. The Cryosphere 15, 3293–3315. doi:10.5194/tc-15-3293-2021.

Statham, G., Haegeli, P., Greene, E., Birkeland, K., Israelson, C., Tremper, B., Stethem, C., McMahon, B., White, B., Kelly, J., 2018. A conceptual model of avalanche hazard. Natural Hazards 90, 663 – 691. doi:10.1007/s11069-017-3070-5.

Stewart, T.R., 2001. Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners. Springer Science + Business Media, LLC. chapter Improving reliability in judgemental forecasting. pp. 81–106.

Techel, F., Mitterer, C., Ceaglio, E., Coléou, C., Morin, S., Rastelli, F., Purves, R.S., 2018. Spatial consistency and bias in avalanche forecasts – a case study in the European Alps. Nat Hazards Earth Syst Sci 18, 2697–2716. doi:10.5194/nhess-18- 2697-2018.

Techel, F., Müller, K., Schweizer, J., 2020a. On the importance of snowpack stability, the frequency distribution of snowpack stability and avalanche size in assessing the avalanche danger level. The Cryosphere 14, 3503 – 3521.doi:10.5194/tc-2020-42.

Techel, F., Winkler, K., Walcher, M., van Herwijnen, A., Schweizer, J., 2020b. On snow stability interpretation of extended column test results. Natural Hazards Earth System Sciences 20, 1941–1953. doi:10.5194/nhess-2020-50.

Conjuntos de datos mencionados en el Apéndice

Schweizer, J., Mitterer, C., Techel, F., Stoffel, A., Reuter, B., 2020b. Snow avalanche data Davos, Switzerland, 1999-2019.doi:10.16904/envidat.134.

Hafner, E., 2019. Avalanche activity data of warning regions with forecast danger level 5-very high (data set).

Völk, M.S., 2020. Analyse der Beziehung zwischen Lawinenauslösung und prognostizierter Lawinengefahr – Quantitative Darstellung einer regionalen Lawinenaktivität am Beispiel Davos (Schweiz). Master's thesis. Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Austria. Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften, Institut für Geographie. 110 p. Supervisor: R. Sailer,F. Techel.