

Análisis de Amenaza por Deslizamientos



Descripción de los pasos de trabajo para analizar las amenazas por

Deslizamientos permanentes y Flujos en ladera

Pasos para el análisis de amenaza

Paso 1

Trabajos preparatorios



Definición perímetro „A“
Definición escenarios
Definición nivel de detalle

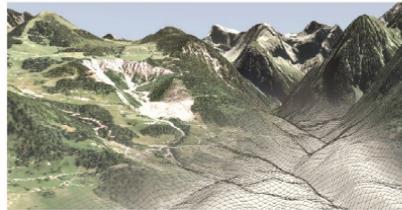


Paso 2

Conseguir datos de base



Estudios anteriores
Modelo digital de terreno
Datos geospaciales, ...



Paso 3

Catastro de eventos



Entrevistar comunitarios
Llenar formulario StorMe
Mapeo de eventos ocurridos

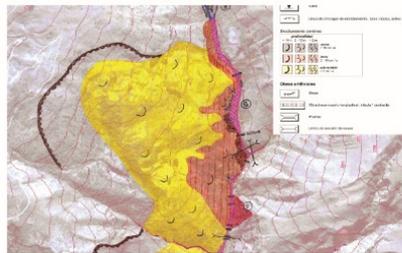


Paso 4

Mapeo fenómenos morfológicos



Buscar testigos morfológicos
en terreno y por fotos aéreas
Mapear los testigos



Paso 5

Mapa de Amenaza Deslizamientos permanentes y Flujos en ladera

Definir frecuencia de eventos
Definir intensidad de eventos
Mapear la extensión de eventos

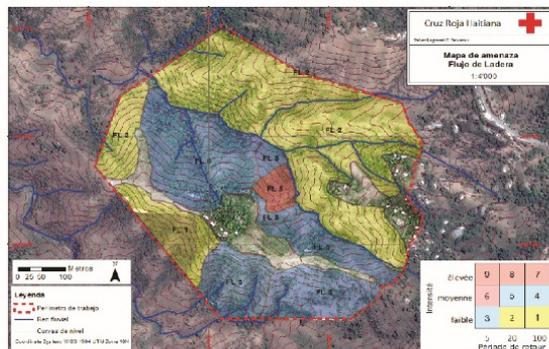


Ilustración 1: Pasos de trabajo para el análisis de amenazas por deslizamientos permanentes y flujos en ladera, estándar mínimo. Fuente: CRS.

Paso 1 – Trabajos preparatorios

Definición del perímetro y nivel de detalle del análisis

Antes de que comience el análisis de amenazas, el área de estudio debe limitarse espacialmente y registrarse en un mapa. Por regla general, el perímetro del mapa de amenazas es más pequeño que el área del proyecto e incluye áreas actuales (o planificadas) de asentamiento, con instalaciones de infraestructura o importantes medios de subsistencia. Por consiguiente, el perímetro del mapeo de amenazas debe limitarse a estas áreas (perímetro "A"). Al limitar el perímetro a las áreas relevantes, se puede ahorrar tiempo y costos para el análisis. Las áreas fuera del perímetro "A" también deben investigarse si influyen a este perímetro. La Ilustración 1 muestra un área de proyecto (área amarilla) y el perímetro "A" del mapeo de amenazas (área violeta). El perímetro "A" está definido conjuntamente por las comunidades y autoridades competentes. En las licitaciones para la cartografía de amenazas, el perímetro "A" debe estar definido en los términos de referencia.

El detalle de análisis también debe determinarse. Para el uso en la planificación territorial a nivel municipal y para la planificación de medidas de mitigación, es adecuada una precisión de escala entre 1:5.000 y 1:10.000.

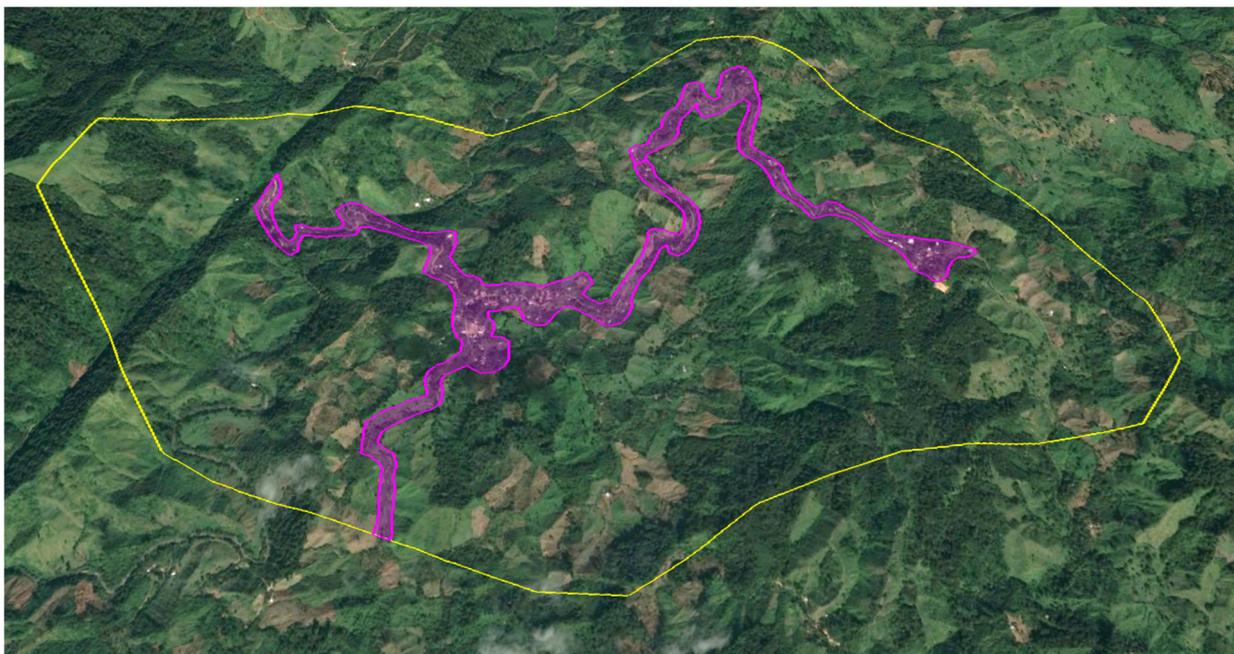


Ilustración 2: Representación del perímetro del proyecto (área amarilla) y del perímetro "A" del mapa de amenazas (perímetro violeta). Fuente: Google-Earth.

Definición de escenarios

Los escenarios de estudio (períodos de retorno a investigar) suelen ser especificados por las autoridades. Si no existen especificaciones, es aconsejable considerar tres escenarios de investigación. Estos escenarios se aplican a menudo con períodos de retorno de 10, 30 y 100 años, equivalente a un evento muy frecuente, un evento generacional y un evento extremo, respectivamente (ver Tabla 1). Para el proceso de deslizamientos permanentes no se consideran períodos de retorno, dado que aquellos se encuentran en permanente movimiento.

Tabla 1: Escenarios considerados con sus períodos de retorno respectivos. Fuente: CRS.

	Evento frecuente	Evento generacional	Evento extremo
Denominación del escenario	„10-años“	„30-años“	„100-años“
Período de retorno	≤ 10 años	10 – 30 años	30 – 100 años
Frecuencia de ocurrencia en últimos 30 años	>3 veces	1 – 3 veces	< 1 vez

Paso 2 – Adquisición de datos de base

Los antecedentes de base proporcionan información valiosa sobre eventos anteriores y su propagación, período de retorno e intensidad. La calidad del análisis de amenazas depende fundamentalmente de la disponibilidad de los datos de base.

- Mapa topográfico o foto satelital como base cartográfica
- Informes locales de eventos anteriores (AVC, etc.)
- Fotos de eventos y daños ocurridos
- Artículos de prensa
- Fotos aéreas georreferenciadas de diferentes fechas
- Modelo digital de terreno (MDT)
- Estudios de obras
- Estudios previos de amenazas

Paso 3 – Catastro de eventos

El análisis de eventos pasados es un componente central del análisis de amenazas. Particularmente en el caso de períodos de retorno muy cortos, la información obtenida puede ser suficiente para describir la amenaza del escenario correspondiente. Para escenarios con largos períodos de retorno (eventos extremos), los datos sirven para comprobar los resultados de los análisis técnicos. La documentación de los eventos anteriores permite tener en cuenta el

conocimiento de la población local sobre las amenazas naturales. También sirve para concientizar a la población e identificarla con el mapa de amenazas.

El método AVC de la FICR describe métodos y herramientas para levantar de manera participativa la información de eventos pasados. A continuación se presentan dos enfoques pragmáticos.

Enfoque a base de fotos aéreas

- El moderador proyecta una fotografía aérea del perímetro de interés (GoogleEarth) en papel blanco (Ilustración 3).
- El moderador asegura mediante un ejercicio plenario que todas las personas puedan orientarse con la ayuda de la fotografía aérea.
- En un procedimiento participativo, la extensión espacial de eventos anteriores se marca en el papel. A cada área de evento se le asigna la fecha del evento asociado y el tipo de proceso de amenaza (índice de eventos). Esto establece un vínculo con los formularios de StorMe (anexo) que se adjuntan para cada evento documentado. Para documentar eventos pasados se puede utilizar también el sistema "Desinventar" (desinventar.org).
- En el plenario, los daños conocidos y la información sobre eventos se compilan en el formulario StorMe. Para ello, quien es responsable de la reunión nombra a alguien que se encargue del protocolo, que se ha familiarizado con el formulario de antemano. El formulario StorMe está referenciado con el índice de eventos en la fotografía proyectada.



Ilustración 3: Mapeo de áreas afectadas de eventos anteriores por parte de la población local (Poco Poco, Bolivia). Fuente: CRS.

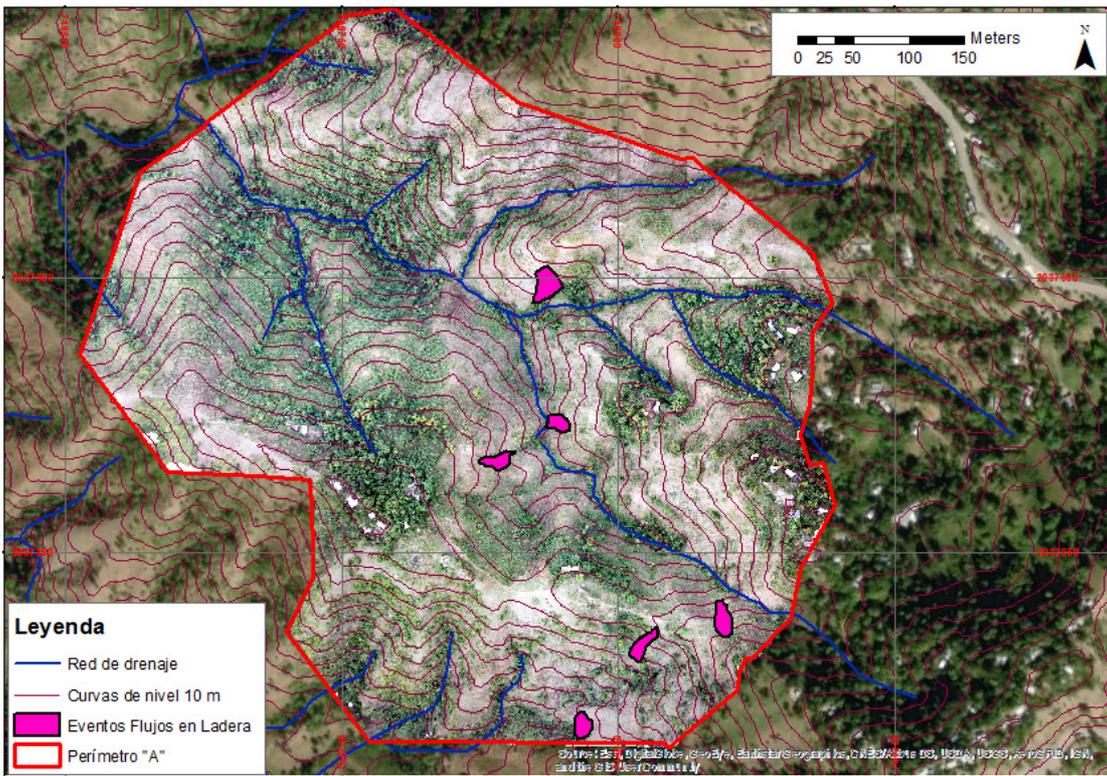


Ilustración 4: Mapeo de flujos en ladera históricos, identificados por la población local, Léo-gâne, Haití. Fuente: CRS.

Enfoque "Recorrido del terreno"

Luego de la reunión con la comunidad o cuando quienes participan no pueden orientarse en la foto aérea, se les invita a recorrer el área de interés. La información adquirida en terreno entra en el formulario StorMe y se registra en un mapa.



Ilustración 5: Foto de un evento de flujo en ladera (izquierda). Discusión sobre un deslizamiento durante el recorrido del terreno en Léo-gâne, Haití (derecha). Fuente: CRS.

Paso 4 – Mapeo de testigos morfológicos

En áreas con escasos datos, así como para el control de calidad de los resultados de los análisis técnicos y del catastro de eventos, es adecuado el mapeo geomorfológico de los testigos de deslizamientos anteriores. La documentación e interpretación de estos testigos en terreno permite extraer conclusiones análogas sobre acontecimientos futuros en cuanto a su posible propagación, intensidad y frecuencia de ocurrencia. Especialmente en el caso de deslizamientos, a menudo se pueden encontrar rastros de eventos anteriores. La cartografía se lleva a cabo principalmente mediante inspecciones in situ, pero también puede complementarse con información procedente de fotografías aéreas o mapas geológicos. Para la cartografía, que se lleva a cabo utilizando la simbología del anexo, se recomienda una escala de 1:10.000 para la cartografía.

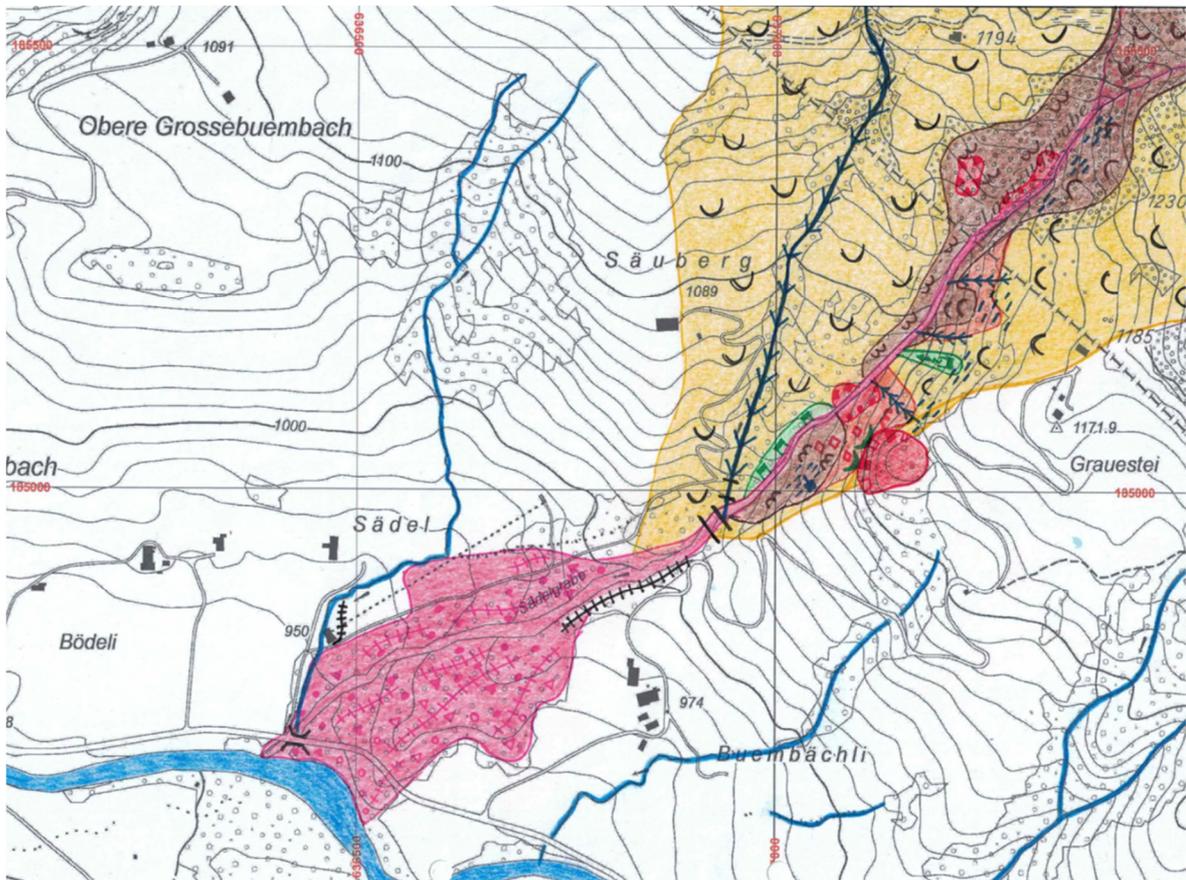


Ilustración 6: Fragmento del mapa de testigos morfológicos de una cuenca en Schangnau, Suiza. La leyenda correspondiente se presenta en anexo. Fuente: CRS.

Paso 5 – Análisis deslizamientos permanentes

Los deslizamientos permanentes son procesos de deslizamiento continuo que han estado activos durante años o incluso siglos. Los movimientos en el terreno a menudo causan formas características de la superficie, que pueden ser usadas para delimitar espacialmente las áreas de

deslizamiento y para estimar las velocidades de movimiento. Dependiendo de la vegetación, las formas de crecimiento de los árboles también proporcionan información sobre la actividad de los deslizamientos permanentes. Por consiguiente, un enfoque geomorfológico es adecuado para la evaluación de la amenaza.

Paso 5.1: Delimitación espacial

La identificación de deslizamientos permanentes se basa en fotografías satelitales de alta precisión, observaciones en terreno de una colina opuesta y observaciones en el área del deslizamiento. Los siguientes fenómenos morfológicos indican su existencia:

Ilustración 7: Perfil longitudinal cóncavo, escalonado en la zona de inicio, perfil longitudinal convexo en la zona de depositación o acumulación.
Fuente: CRS.

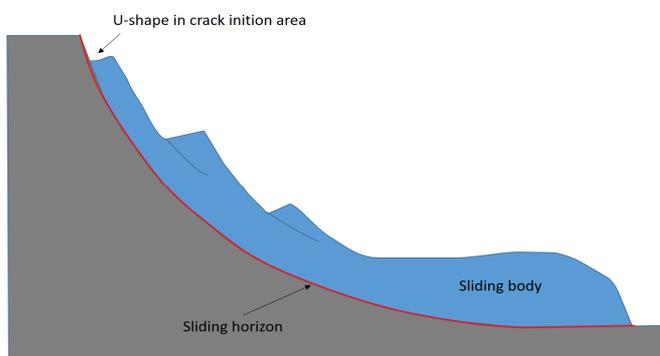


Ilustración 8: La sección transversal muestra la forma U en la zona de inicio del deslizamiento. La dirección de deslizamiento se indica mediante la flecha roja.
Fuente: CRS.

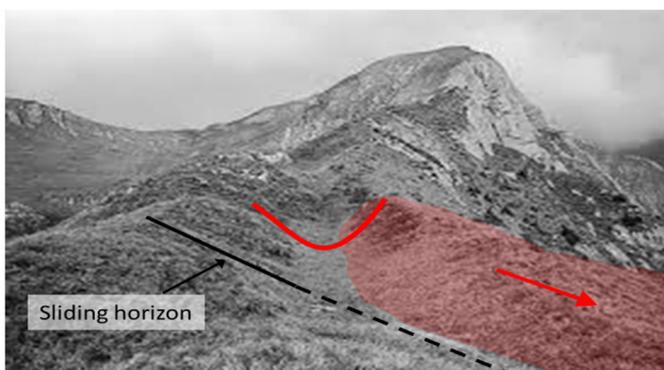


Ilustración 9: Áreas convexas en el frente de un deslizamiento (flecha). Fuente: PLANAT.



Ilustración 10: Superficie ondulada (flecha) indica la existencia de un deslizamiento permanente. A menudo faltan cauces en el área del cuerpo de deslizamiento debido a la deformación continua de la superficie. Fuente: GEOTEST AG.



Ilustración 11: Fisuras profundas en el bosque con raíces tensas por una masa de tierra en movimiento. Fuente: CRS.



Ilustración 12: Grietas de tensión en el área de fractura. Fuente: PLANAT.



Ilustración 13: Curvatura de la vegetación arbórea. Fuente: CRS.



Paso 5.2: Evaluación de la intensidad

Dado que los deslizamientos permanentes tienen una actividad continua, no se puede asignar un período de retorno. La clasificación de la amenaza se basa únicamente en la intensidad. Según la tabla 2, esta se define por la tasa media anual del movimiento. Si existe un potencial de reactivación (posibilidad de aceleración de los movimientos), el nivel de amenaza debe aumentarse en una clase. Un potencial de reactivación existe bajo las siguientes condiciones:

- El deslizamiento desemboca en un cauce erosivo que puede desestabilizar el pie del deslizamiento.
- La infiltración de flujo concentrado de agua al cuerpo deslizante puede incrementar la saturación del deslizamiento permanente y reactivarlo.

Tabla 2: Diferenciación de los niveles de intensidad para deslizamientos permanentes. A base de la intensidad y el potencial de reactivación se determina el nivel de amenaza con los colores correspondientes. Fuente: CRS.

Intensidad	Tasa anual de movimiento	Potencial reactivación	Índice de amenaza
baja	< 2 cm/a		DP 1
media	2 – 10 cm/a	↓	DP 2
alta	> 10 cm/a	↓	DP 3

Indicadores para diferentes intensidades

Intensidad baja

El terreno muestra una superficie ondulada sin grietas abiertas. Ocasionalmente, las puertas y ventanas de los edificios dentro del área del deslizamiento pueden tener ligeras restricciones de uso a largo plazo y mínima formación de grietas en las paredes. Las carreteras pueden sufrir hundimientos a largo plazo. El tráfico en la carretera sigue estando garantizado. No es de esperar que se produzca un riesgo considerable para las personas e infraestructura.



Ilustración 14: Superficie ondulada de un deslizamiento permanente de baja intensidad. Fuente: GEOTEST AG

Intensidad media

El terreno con superficie ondulada muestra grietas y fisuras abiertas en el borde del deslizamiento. La formación de grietas en los edificios puede causar daños moderados que dificultan su uso. No es de esperar que se produzcan daños estructurales. Las personas no están en peligro en el interior de los edificios. Pueden producirse deformaciones de las carreteras o tuberías.



Ilustración 15: Grieta abierta de un profundo deslizamiento permanente. Fuente: Scoopnest.com

Intensidad alta:

Ocurren fuertes deformaciones de la superficie, con grietas profundas repetitivas sobre todo en la parte marginal del deslizamiento. Las deformaciones causan la destrucción de edificios e infraestructura. Los caminos no son transitables por las fuertes deformaciones. Las tuberías y la infraestructura están gravemente dañadas o destruidas.

Ilustración 16: Movimientos del terreno dividen el subsuelo en terrones. Flechas marcan la dirección de movimiento. Fuente: CRS.



Paso 5.3: Estándar avanzado – Inclusión de análisis geoespacial con SIG

Con modelos digitales de terreno (MDT) de alta resolución con un ancho de pixel de < 5 metros, los deslizamientos permanentes pueden ser detectados y delimitados espacialmente de mejor manera. Esto reduce el esfuerzo requerido para la evaluación en el campo. Para ello, los MDT se procesan en un SIG a una imagen de relieve de sombra virtual (hillshade). Al variar el ángulo y la dirección de la luz virtual, a menudo se pueden detectar claramente los deslizamientos (Ilustración 17). Asimismo, se pueden crear en SIG secciones longitudinales a través del deslizamiento para reconocer las formas morfológicas típicas (Ilustración 7). Si se dispone de mediciones de movimiento de deslizamientos conocidos, la intensidad puede determinarse con mayor precisión. Sin embargo, estas posibilidades son escasas, por lo que este aspecto no se aborda en esta guía.

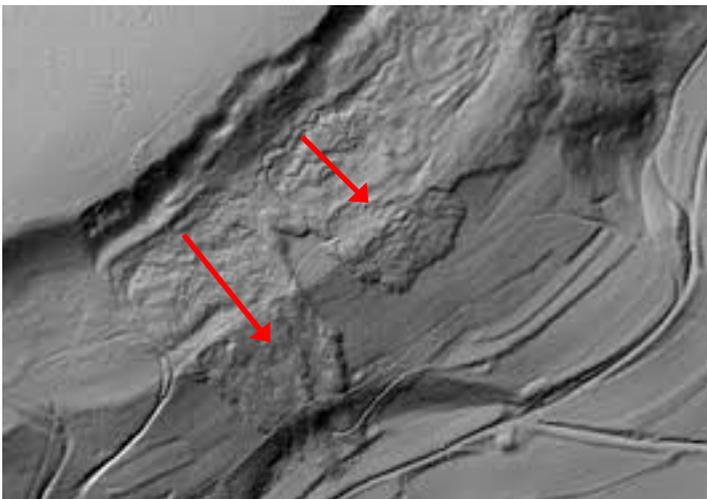


Ilustración 17: Visualización de un deslizamiento permanente por medio de una imagen de relieve (hillshade). La zona de ruptura y la superficie ondulada son claramente visibles. Fuente: Swisstopo.

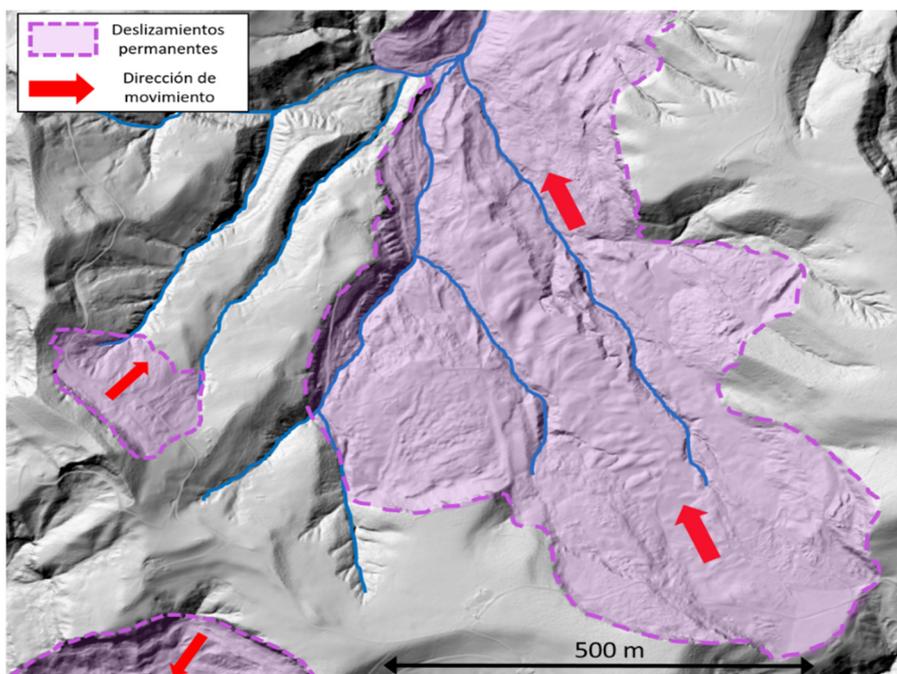


Ilustración 18: Visualización de varios deslizamientos permanentes por medio de una imagen de relieve (hillshade). Las líneas azules muestran la red de drenaje. Fuente: Swisstopo.

Paso 6 – Análisis técnico de flujos en ladera

Análisis precedentes mostraron que, por regla general, no hay linealidad entre la intensidad o cantidad de precipitaciones y la ocurrencia de flujos en laderas. Por esta razón, la amenaza se evalúa sobre la base de un análisis de disposición con los siguientes criterios:

- Topografía: pendiente de taludes
- Geología: tipo de roca y orientación de los estratos rocosos
- Geomorfología: formación de la superficie y testigos morfológicos
- Uso del suelo: grado y calidad de la cobertura arbórea
- Condiciones del agua subterránea

Los flujos en laderas solo pueden ocurrir por encima de una pendiente crítica. Esta depende de la geología, del tipo del suelo y del uso de la tierra. En consecuencia, las posibles zonas desencadenantes pueden localizarse sobre la base de esta diferenciación. Las condiciones geomorfológicas y las condiciones del agua subterránea también pueden utilizarse para evaluar de forma fiable la frecuencia de ocurrencia. La intensidad de los eventos futuros depende del espesor de la masa de material suelto.

Paso 6.1: Definición de la geología

El tipo de roca en el área de estudio (litología) se determina por medio de inspecciones del sitio o mapas geológicos. En particular, debe distinguirse entre roca parcialmente permeable (por ejemplo caliza) y roca impermeable (por ejemplo roca esquista). La litológica se registra en un mapa (Ilustración 19).

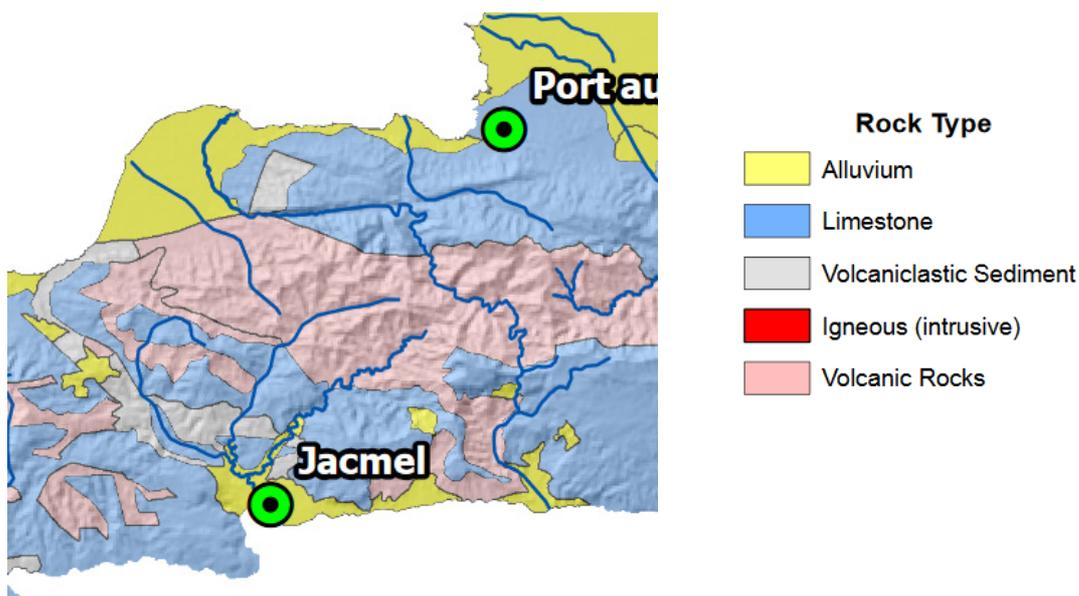


Ilustración 19: Representación de la cartografía geológica de Léogâne, Haití.

Paso 6.2: Determinación de la pendiente crítica

El catastro de eventos y el mapa de fenómenos morfológicos se utilizan para localizar los flujos en ladera históricos y para crear estadísticas de las pendientes en su área de ruptura (la pendiente para temas de deslizamientos siempre se mide en grados). Las estadísticas son específicas de la litología. La evaluación de estas estadísticas permite determinar la pendiente crítica para que los flujos en ladera puedan desencadenar. En áreas de forestación densa (sin espacios vacíos de árboles visibles en fotos aéreas) la pendiente crítica puede ser de hasta 5° más alta que en áreas no boscosas. En taludes con pendientes < 18°, la ocurrencia de flujos en laderas es poco probable, independientemente de la litología.

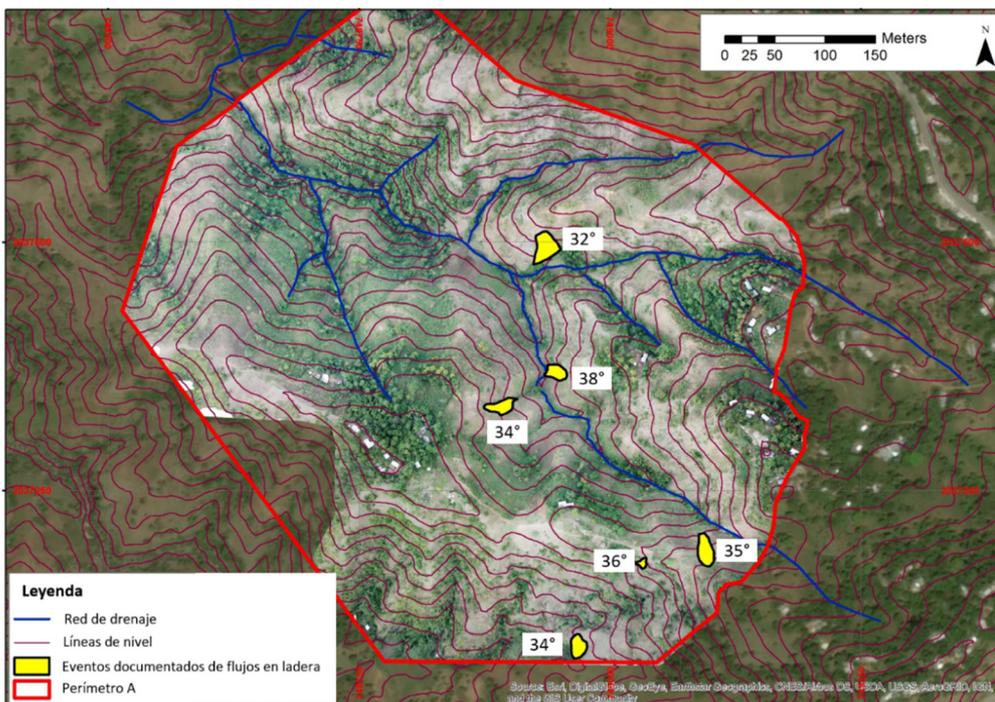


Ilustración 20: Mapeo de eventos históricos. La pendiente crítica se evalúa en la Ilustración 21. Fuente: CRS.

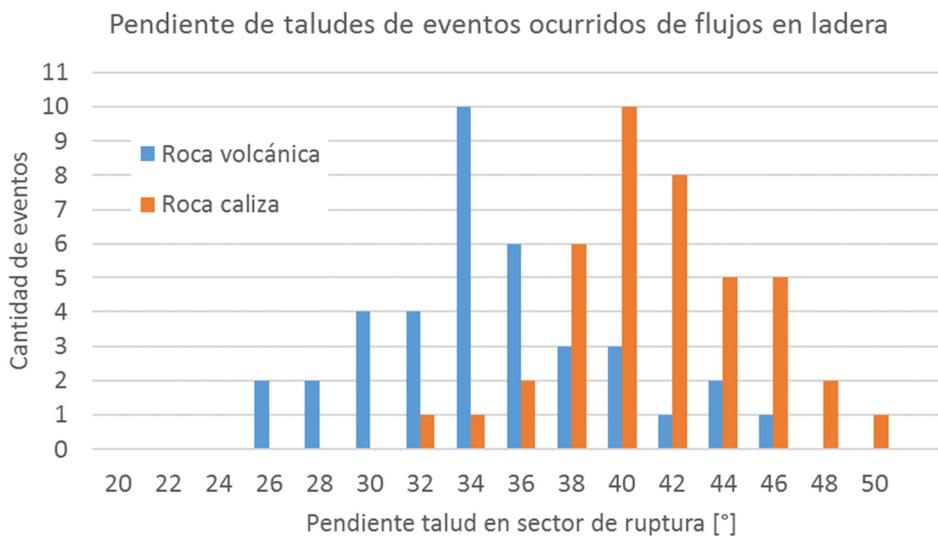


Ilustración 21: Número de eventos históricos de flujos en ladera, según litología. En este ejemplo, la pendiente crítica para las áreas volcánicas es de 26°, para áreas con litología de caliza es de 32°. Fuente: CRS.

Paso 6.4: Definición del alcance espacial de flujos en ladera

El alcance de los flujos en ladera depende en particular del contenido de agua del material suelto, así como de la topografía. La extensión puede ser un múltiplo de la longitud de ruptura en terrenos estirados y ligeramente cóncavos. Según la literatura pueden llegar a alcanzar varios cientos de metros. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el alcance es inferior a 100 m. Este límite también se recomienda en esta guía. Con perfiles cóncavos abruptos, el alcance es claramente menor. La determinación de la extensión máxima también puede estimarse aproximadamente sobre la base del gradiente global (gradiente entre el área de inicio de la ruptura y el frente del depósito). Por regla general, el gradiente global es alrededor de $18^\circ - 20^\circ$.

Paso 6.5: Definición del período de retorno

La probabilidad (período de retorno) de que se produzcan flujos en ladera está relacionada con factores morfológicos e hidrogeológicos (factores desencadenantes). En el siguiente texto, se definen dos clases de factores desencadenantes (lista no exhaustiva).

Factores desencadenantes, tipo 1:

- Grandes acopios artificiales de tierra en taludes empinados
- Área de pendiente alta dentro de un deslizamiento permanente de alta tasa de movimiento (alta intensidad) acompañado por anegamiento permanente de agua
- Área ubicada en una depresión morfológica, junto con fisuras frescas profundas en la superficie y estratificación paralela a la pendiente del talud
- Área en un talud escarpado, cuyo pie está cortado por erosión fluvial o por excavación, acompañado por anegamiento permanente de agua

Factores desencadenantes, tipo 2:

- Área de pendiente alta dentro de un deslizamiento permanente de intensidad media o baja
- Área de pendiente alta con anegamiento permanente con fuentes de agua dispersas
- Depresión morfológica del terreno
- Estratificación de la roca paralela a la pendiente del talud
- Área de pendiente alta con reciente deforestación de bosques densos de áreas $> 50 \times 50$ m

Los períodos de retorno de flujos en ladera se pueden determinar utilizando el diagrama que se muestra en Ilustración 23. Flujos en ladera con frecuencia de ≤ 10 años son muy escasos.

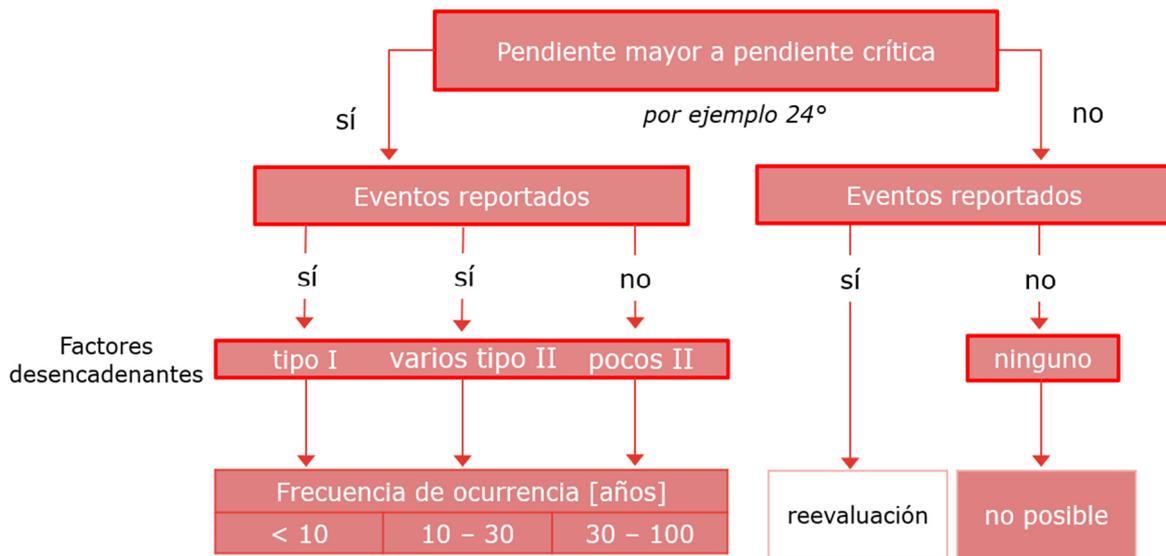


Ilustración 23: Diagrama para la evaluación de la frecuencia de flujos en ladera. Para la determinación del período de retorno, se tiene que aplicar tanto factores de tipo 1 como de tipo 2. Fuente: CRS.

En áreas con densa vegetación arbórea altamente diversificada (diferentes especies arbóreas de diferentes edades), la pendiente crítica puede incrementarse de 5°.

Paso 6.6: Definición de la intensidad

La intensidad está determinada por el espesor del subsuelo en la parte de ruptura y de depósito. Esta se estima en terreno sobre la base de la profundidad supuesta de la superficie de la roca. La Tabla 3 distingue los diferentes niveles de intensidad: baja, media y alta.

Tabla 3: Niveles de intensidad de flujos en ladera. Fuente: CRS.

	Intensidad		
	Baja	Media	Alta
Espesor subsuelo [m]	< 0.5	0.5 – 2.0	> 2.0
Afectación personas	Mínima	Mortal fuera de edificios	Mortal dentro y fuera de edificios
Afectación bienes	Mínima	Daño considerable	Destrucción o daño estructural

Imágenes de eventos con sus intensidades correspondientes

Intensidad baja

Para flujos en ladera muy superficiales o en las áreas periféricas de deposición de material.

Ilustración 24: Flujo en ladera somero. Fuente: PLANAT.



Intensidad media

Deslizamiento de material suelto sobre la roca a una profundidad de 0,5 - 2,0 m. Los depósitos en el pie de la ladera y delante de los obstáculos de flujo son < 2 m.

Ilustración 25: Deslizamiento superficial de profundidad media. Fuente: PLANAT.



Intensidad alta

Destrucción de edificios por flujos en ladera de espesor > 2 m.

Ilustración 26: Flujo en ladera profundo en Cormier, Haití. Fuente: CRS.



Paso 6.7: Elaboración del mapa de amenaza por Flujos en ladera

La presentación de los mapas de amenazas a base de la información de la intensidad y la frecuencia de ocurrencia se explica en el apartado “Documentación de los resultados” de la guía metodológica.