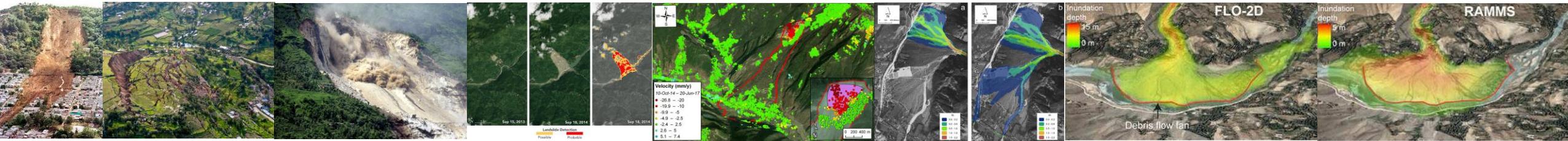


Unidad 1. Curso de Corrección de Torrentes

Monitoreo de Deslizamientos y Evaluación del Riesgo

- Identificar los conceptos fundamentales del mapeo de riesgo por deslizamientos, incluidos los factores geofísicos y meteorológicos, y cómo pueden utilizarse los datos satelitales con este fin.





Cruden & Varnes (1996); Highland & Bobrowsky (2008)

Definición: Un **deslizamiento** es un tipo de **movimiento en masa** en el que un volumen de roca, suelo o material no consolidado se desplaza cuesta abajo bajo la acción de la gravedad, generalmente a lo largo de una superficie de falla o despegue. Los deslizamientos pueden ser rotacionales o translacionales, y su ocurrencia está relacionada con factores como saturación del suelo, sismos, socavación basal o cambios en la pendiente. Se presentan en la ladera

El deslizamiento precede al torrente

Esto puede suceder cuando:

1. Se produce un **deslizamiento** en una ladera inestable, que deja gran cantidad de **material suelto** (suelo, roca, sedimento) cerca de un cauce o quebrada.
2. Luego, una lluvia intensa genera escorrentía, que **removiliza ese material**.
3. El agua mezcla ese sedimento y lo transporta violentamente por el cauce → se forma un **flujo torrencial**, o incluso un **debris flow**.

"Los depósitos de deslizamientos recientes pueden constituir una fuente clave de sedimentos para flujos torrenciales si son removilizados por escorrentía concentrada."

— Jakob & Hungr (2005)

Ayala (2002); Conesa García (2005)

Definición: Un **torrente** es un curso de agua de régimen efímero o intermitente, que fluye en zonas montañosas o de fuerte pendiente, caracterizado por una alta energía de flujo, transporte de sedimentos y una respuesta rápida a las precipitaciones intensas. En ciertas condiciones, los torrentes pueden evolucionar hacia **flujos de detritos (debris flows)**, que son mezclas densas y rápidas de agua, sedimento, rocas y material vegetal que se comportan como fluidos no newtonianos altamente destructivos. Se presentan en el cauce.

El torrente desencadena un deslizamiento

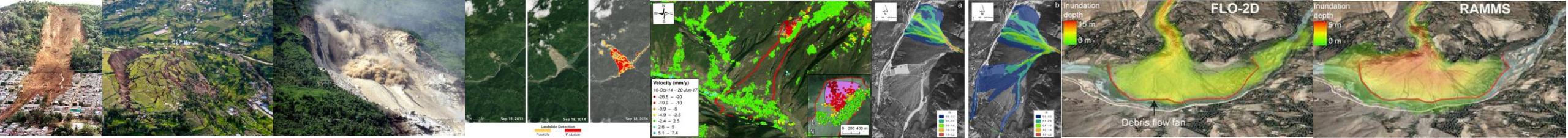
También puede pasar lo contrario:

1. Una lluvia intensa genera un **torrente de escorrentía** con alta capacidad erosiva.
2. Ese torrente **erosiona la base de una ladera** o remueve soporte lateral.
3. Esto puede **desestabilizar un talud**, provocando un deslizamiento.

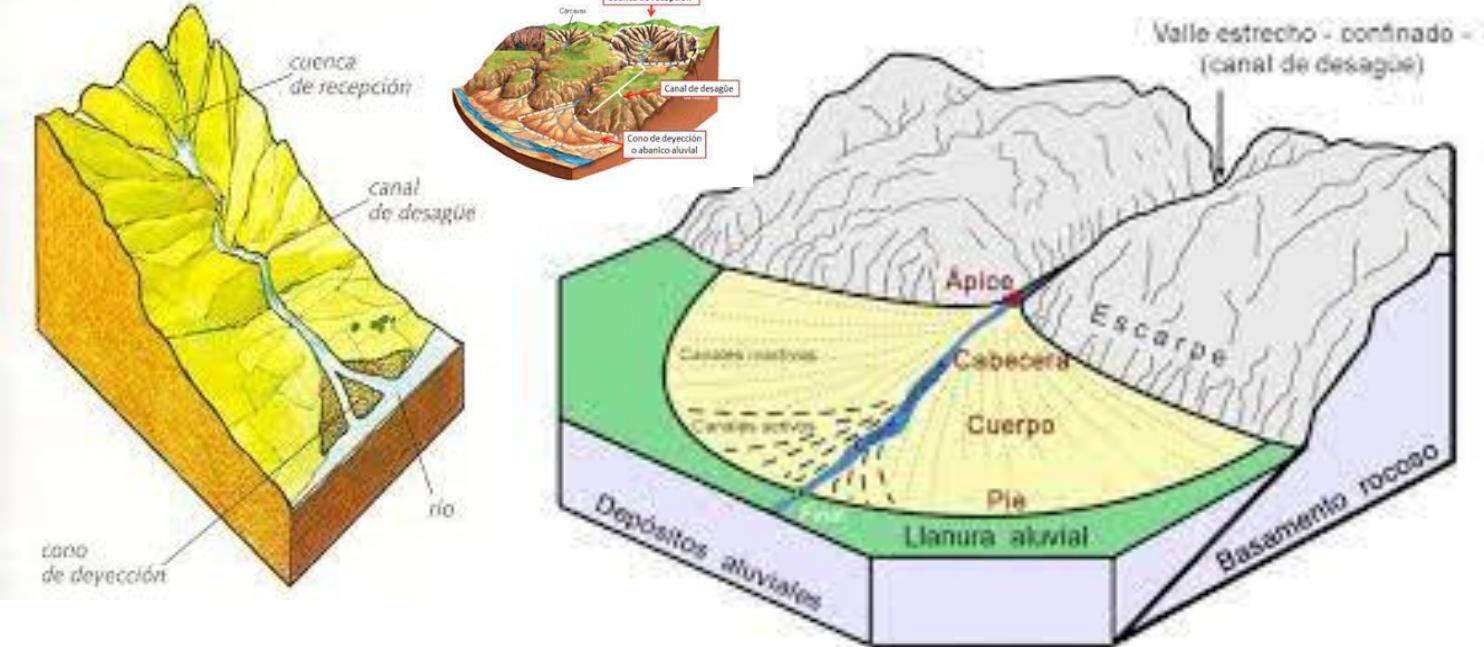
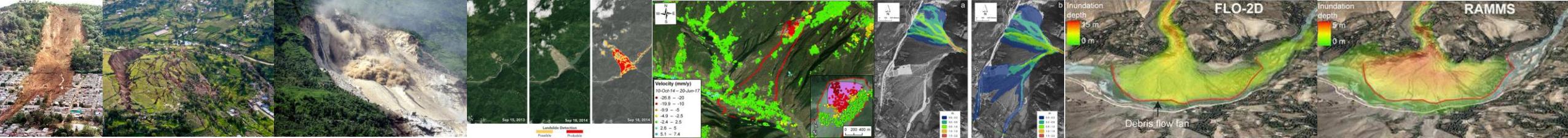
"Los torrentes pueden inducir deslizamientos al socavar laderas adyacentes y reducir la estabilidad de taludes naturales."

— Highland & Bobrowsky (2008)

Diferencias



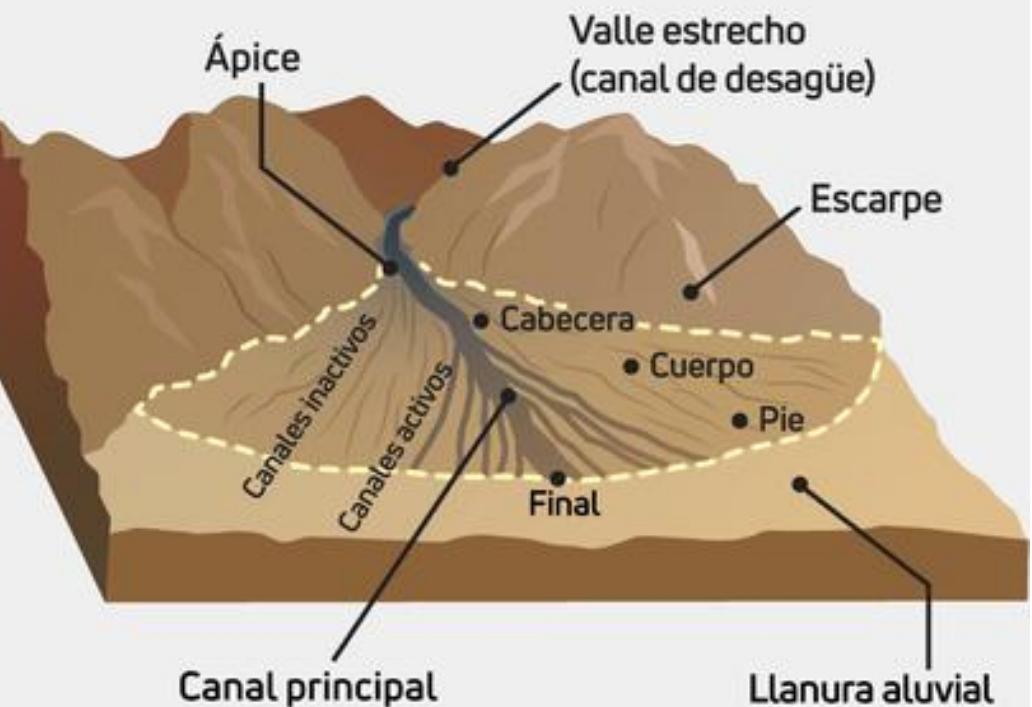
Aspecto	Torrente	Deslizamiento
Definición	Cauce natural con régimen intermitente, de alta pendiente, que transporta agua y sedimentos.	Movimiento en masa de suelo o roca cuesta abajo por pérdida de estabilidad.
Naturaleza del fenómeno	Proceso hidrológico e hidrogeomorfológico	Proceso geodinámico y geotécnico
Material movilizado	Aqua + sedimentos (gravas, arenas, limos, rocas, troncos)	Tierra, rocas, detritos (cohesivos o no)
Agua en el proceso	Fundamental para su activación y transporte	Puede estar presente, pero no siempre es esencial
Dinámica del movimiento	Flujo superficial canalizado, puede ser rápido y torrencial	Desplazamiento masivo de bloques o capas, puede ser lento o rápido
Trayectoria	A lo largo de un cauce o quebrada	En laderas, muchas veces sin cauce definido
Producto geomorfológico	Formación de conos aluviales, cárcavas, canales	Formación de cicatrices, escarpes, depósitos coluviales
Duración del proceso	Episódico (activado por eventos climáticos intensos)	Puntual o prolongado (puede durar días, semanas o meses)

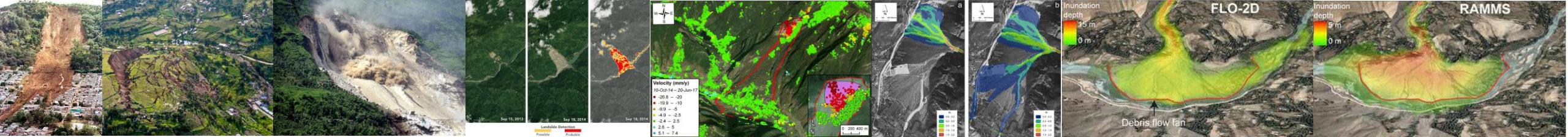


Corrientes de aguas superficiales en las cuales hay un cauce fijo pero un caudal irregular.

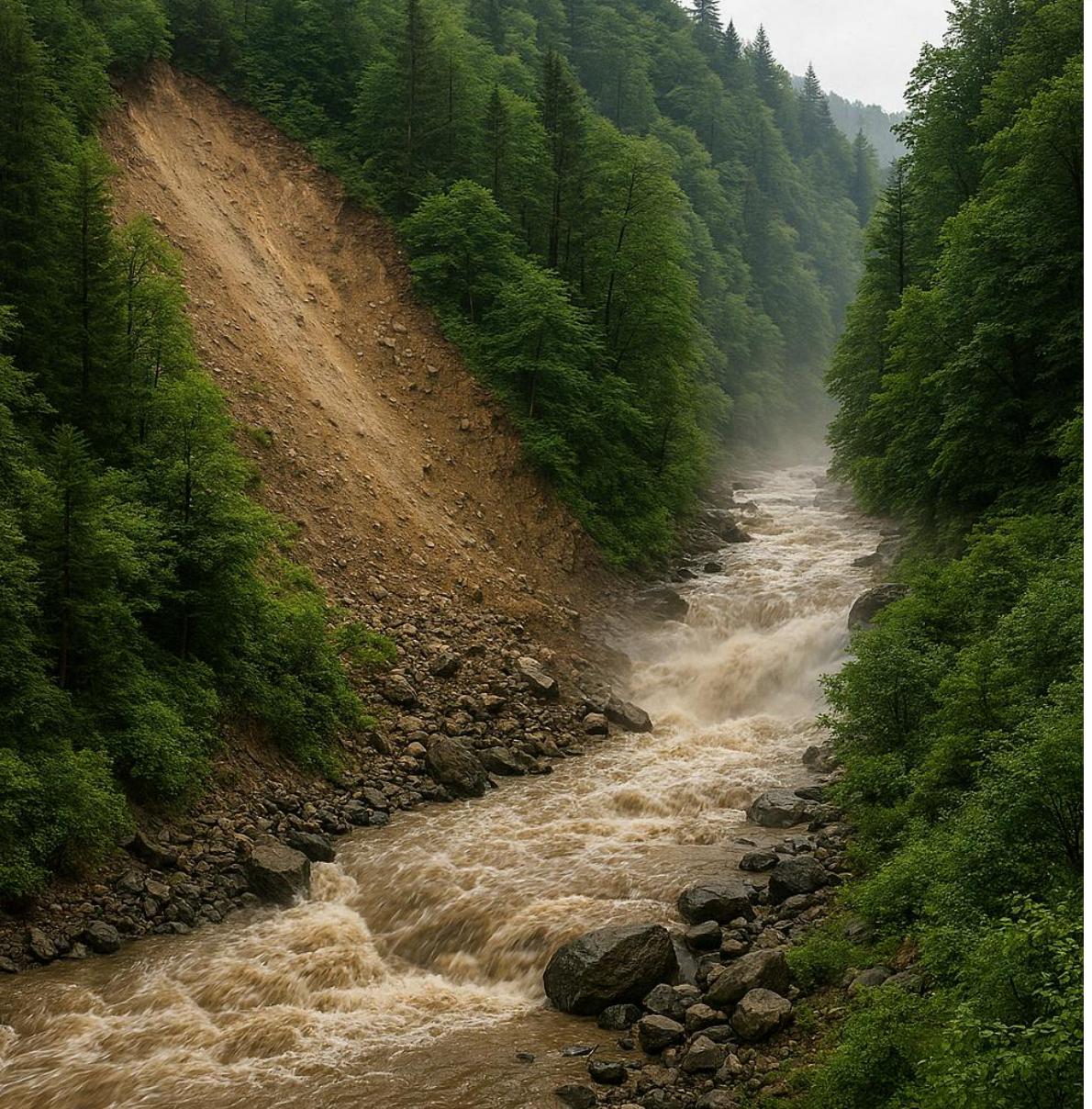
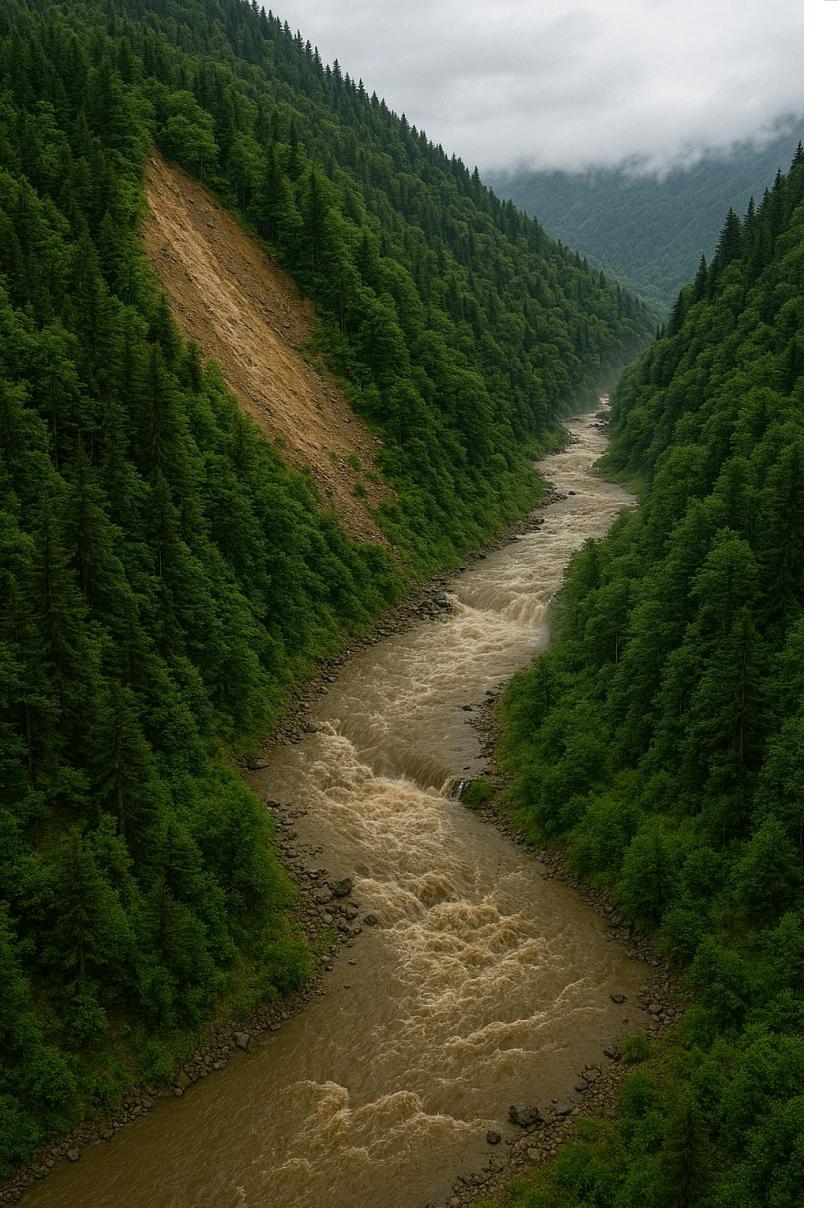
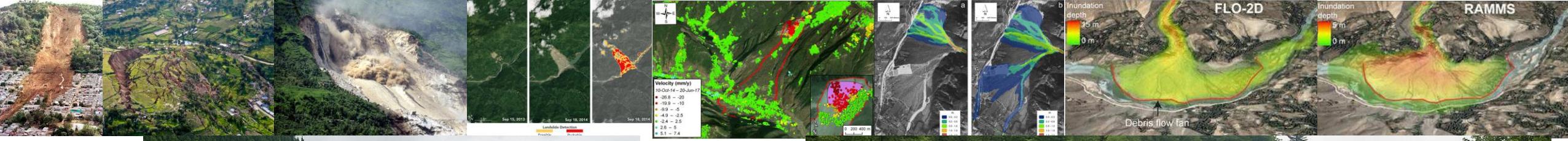
Sus partes son:

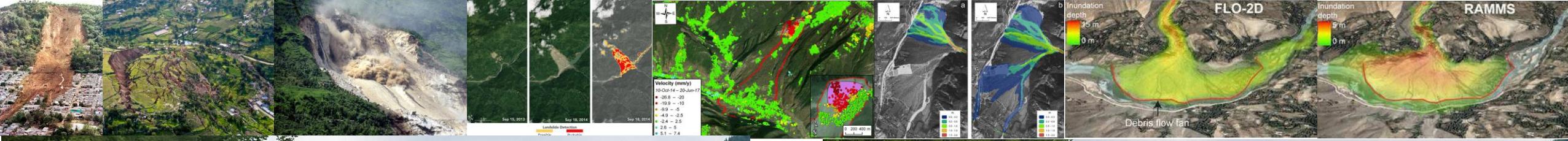
1. Cuenca de recepción: es donde se va acumulando y encauzando el agua. Es la parte más superior del torrente y la más erosiva. Los fragmentos que erosiona reciben el nombre de aluviones.
2. Canal de desagüe: es por donde discurre el torrente a lo largo de la pendiente y de transportan esos aluviones.
3. Cuenca de deyección o abanico aluvial: es la zona del final del torrente donde se sedimentan y acumulan los aluviones en forma de abanico.

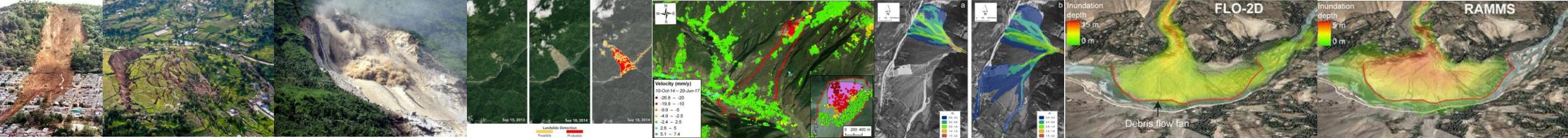




- Muchas de las grandes avenidas torrenciales que observamos en ambientes montañosos tienen su **origen directo en deslizamientos** que, al movilizarse en laderas empinadas, se **transforman en flujos** altamente móviles, cargados de agua y material. Es decir, la **fase de propagación inicial del torrente** está gobernada por los mismos principios mecánicos que rigen los movimientos en masa: presión de poros, fuerza de gravedad, resistencia al corte, saturación del terreno.
- Por eso, el **estudio científico de los deslizamientos** –desde la geotecnia, la hidrogeología, la dinámica de laderas y la estabilidad de taludes– es el **fundamento principal para entender la génesis y propagación de muchos torrentes**. Incluso los flujos de detritos más violentos pueden rastrear su origen a un deslizamiento que perdió cohesión y ganó movilidad al saturarse.
- Este punto es crucial para la gestión del riesgo: **si podemos diagnosticar, modelar y prever la inestabilidad de una ladera, podemos anticipar con mayor precisión el comportamiento de muchos torrentes destructivos**. Así, lejos de ser procesos separados, deslizamiento y torrente forman parte de un continuo físico que nos exige integrar disciplinas y pensar en cascada de eventos.

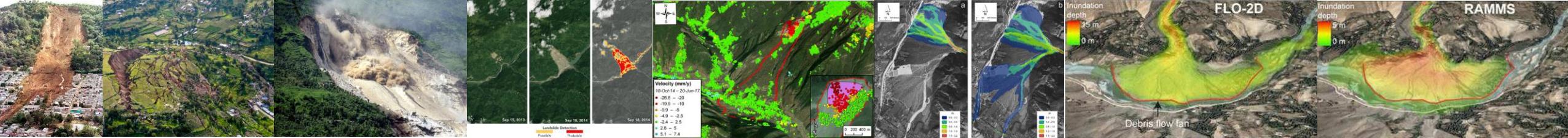






del tipo 2 al 6, todos estos flujos tienen en común que **se forman esencialmente a partir de deslizamientos** que ganan movilidad e hidratación. Por tanto, **el análisis, predicción y prevención de estos flujos requiere comprender primero la dinámica de deslizamiento**, su activación y evolución.

Tipo de flujo	Contenido de sedimentos (% en volumen)	Comportamiento	Descripción
1. Flujo fluvial normal (streamflow)	< 20%	Newtoniano	Agua con bajo contenido de sedimentos. Flujo típico de ríos o quebradas.
2. Flujo hiperconcentrado (hyperconcentrated flow)	20–60%	Transicional (no newtoniano)	Alta carga de sedimentos en suspensión. Se mueve como agua espesa.
3. Flujo de detritos (debris flow)	> 60%	No newtoniano, plástico-viscoso	Mezcla densa de bloques, arena, limo y agua. Gran capacidad destructiva.
4. Flujo de lodo (mudflow)	> 60%, con alto contenido de finos (limo/arcilla)	Muy viscoso	Similar al flujo de detritos, pero con menos grava y más partículas finas.
5. Flujo de escombros (coarse debris flow)	> 60%, dominado por gravas y bloques	Inercial-plástico	Flujo con predominio de material grueso, común en ambientes torrenciales.
6. Flujo de bloques con matriz (block and matrix flow)	50–70% bloques grandes, matriz fina saturada	Plástico, laminar	Se mueve lentamente, común en flujos de colapso de laderas masivas.



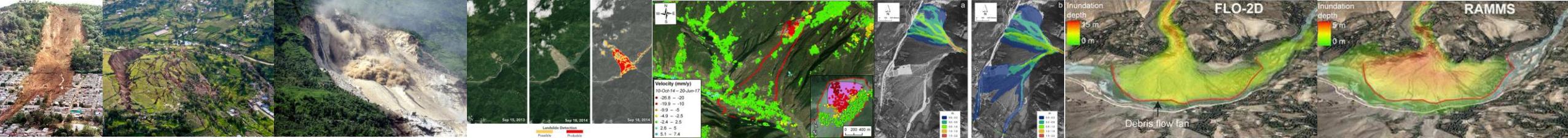
Un **torrente se genera cuando coinciden** condiciones morfodinámicas propicias (pendientes, forma de la cuenca, sedimentos disponibles) con un **evento hidrometeorológico detonante**, típicamente una lluvia intensa. Su potencia y peligrosidad aumentan significativamente cuando se alimenta de **deslizamientos previos**, lo que reafirma que el **estudio del deslizamiento es esencial** para comprender los mecanismos de propagación de muchos torrentes

Los **torrentes** no son procesos homogéneos: forman un **continuo dinámico entre agua y sedimento**, desde el flujo fluvial clásico hasta flujos de detritos densos y destructivos.

En regiones montañosas como Colombia, es común que los torrentes evolucionen entre estos tipos, dependiendo de:

- La **intensidad de lluvia**,
- La **disponibilidad de sedimentos**,
- Y los **procesos previos de remoción en masa**.

Aunque existen distintos tipos de flujos torrenciales, en contextos montañosos como el colombiano, la mayoría de ellos **no se originan directamente por el agua**, sino por un **deslizamiento de tierra** que actúa como fuente inicial de sedimentos y energía. Es decir, el flujo se genera o se propaga principalmente por un **deslizamiento que colapsa e interactúa con el cauce**



En el contexto colombiano: El deslizamiento es el factor crítico para entender la generación de torrentes

1. Geografía y geología montañosa activa

Colombia se ubica en el cinturón de montañas más activo de América Latina (Andes tropicales), con:

- **Altas pendientes,**
- **Relieves jóvenes y fracturados,**
- **Rocas meteorizadas**
- **Suelos volcánicos y coluviales fácilmente movilizables.**

Esto favorece enormemente la **inestabilidad de laderas**. En muchas zonas, los cauces atraviesan pendientes inestables, por lo que la interacción *ladera-quebrada* es constante.

2. Régimen climático de lluvias intensas

Las precipitaciones en Colombia (debido a zonas de convergencia intertropical, fenómenos como *La Niña*, y la topografía orográfica) generan:

- **Eventos de lluvia extrema localizados** que saturan rápidamente el terreno,
- **Deslizamientos superficiales y profundos** que colapsan en minutos.

Muchos de estos deslizamientos **caen directamente en los cauces**, lo que **modifica o bloquea** el flujo natural del agua.

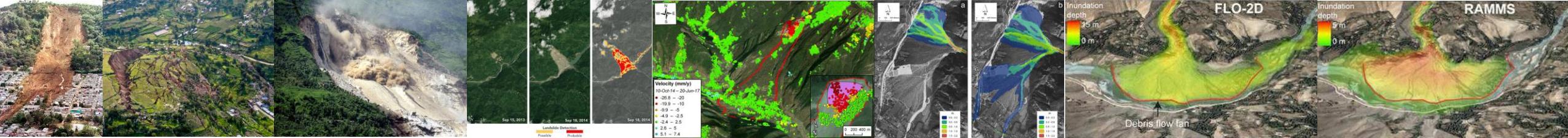
3. El taponamiento del cauce como desencadenante del torrente

Este es el mecanismo más **crítico y frecuente en Colombia**:

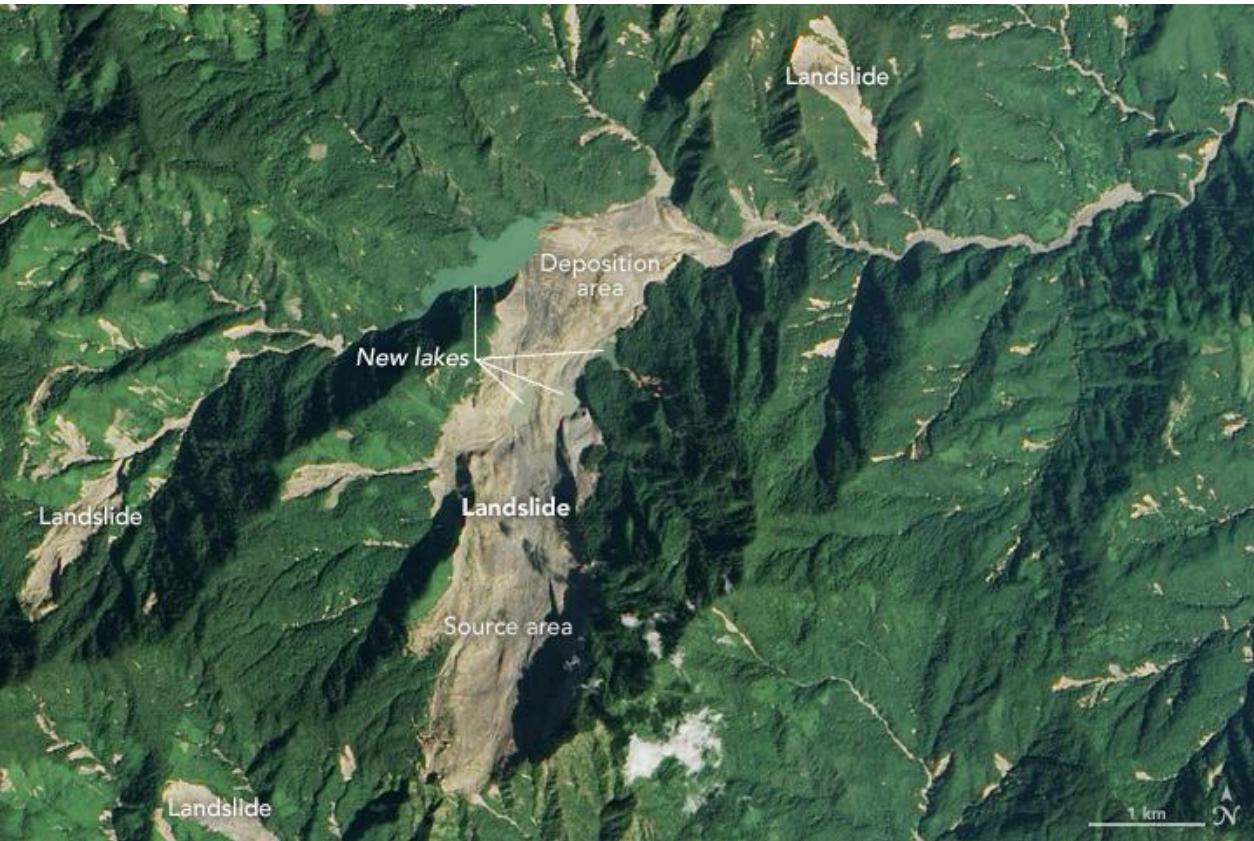
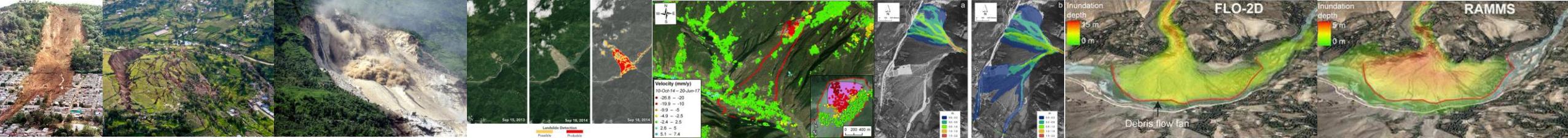
Un **deslizamiento colapsa sobre un cauce** → forma una **presa natural temporal** con materiales sueltos (bloques, gravas, arcillas saturadas) → el agua se **represa** detrás del tapón → la presa falla por erosión basal o sobrepujo → se libera una **ola de flujo torrencial** cargada de agua y sedimentos → esto genera una **avenida torrencial destructiva**.

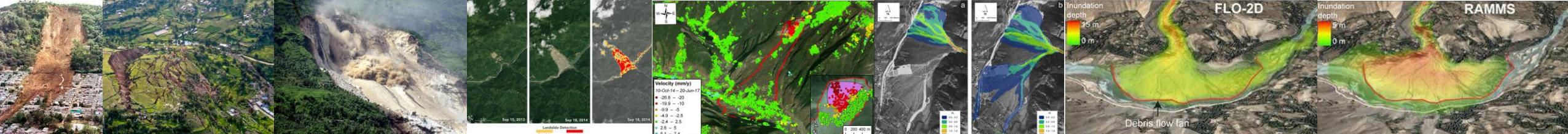
Este patrón está documentado en múltiples eventos catastróficos en Colombia, como en:

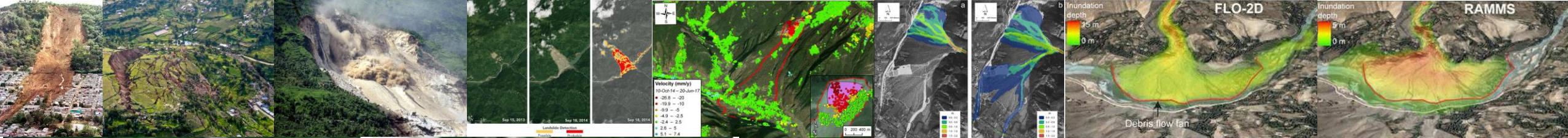
- Mocoa (2017),
- Salgar (2015),
- La Gabriela (Bello, 2010),
- El Carmen de Atrato (Chocó, múltiples eventos),



- En el caso colombiano, el **conocimiento profundo de los deslizamientos** no es opcional, sino **fundamental** para entender y anticipar muchos de los torrentes que han cobrado vidas humanas y destruido infraestructura.
- Aunque el torrente es el fenómeno visible y destructivo, el **problema de fondo** (y el verdadero factor físico desencadenante) en la mayoría de casos es un **deslizamiento que obstruye el cauce**, genera represa temporal, y posteriormente se transforma en flujo de detritos o en una avenida torrencial.
- Por eso, **la ciencia que estudia la propagación de estos torrentes en Colombia debe fundamentarse primero en la comprensión física, geotécnica e hidrogeológica de los deslizamientos.**



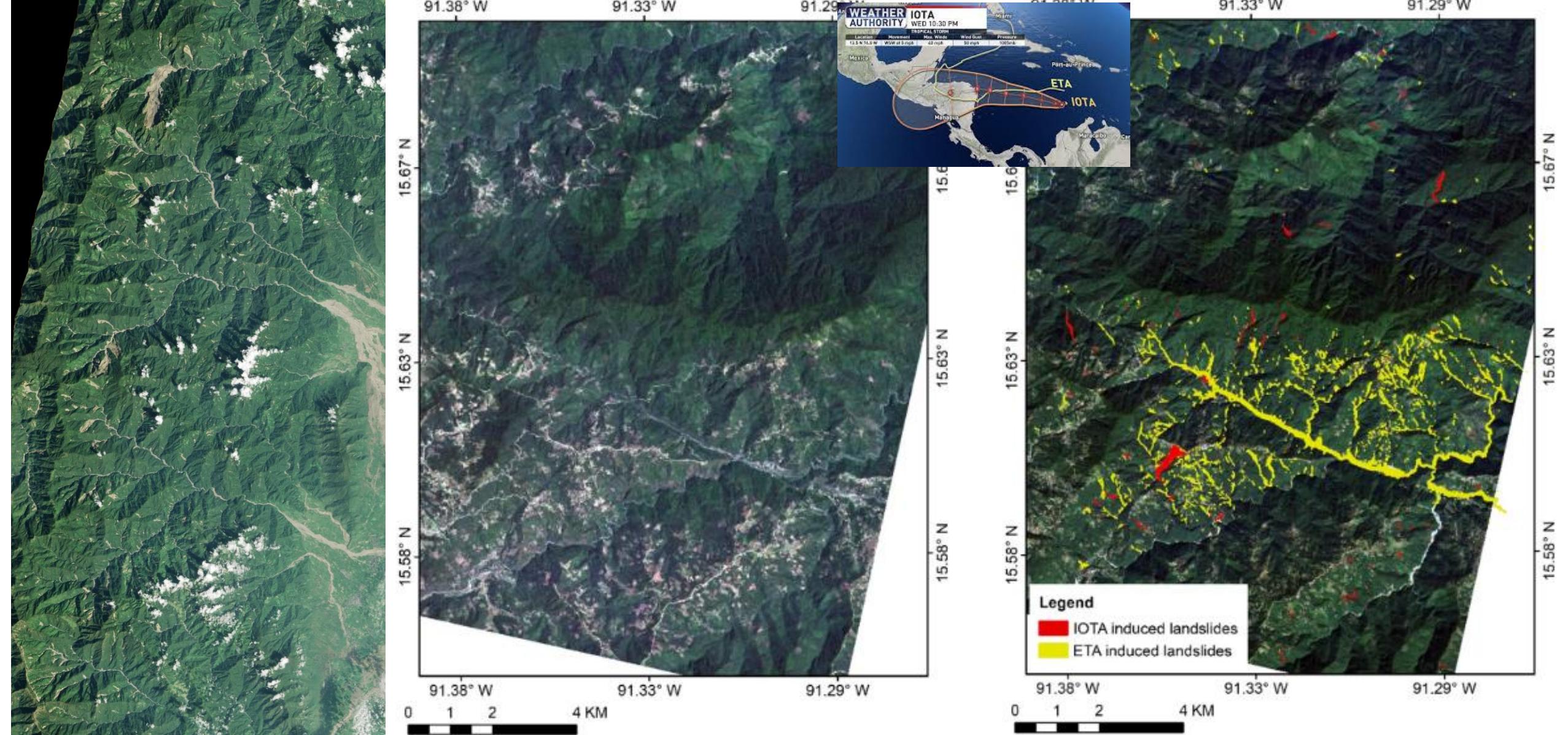
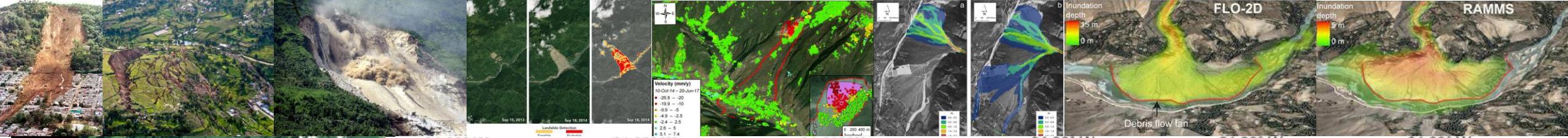


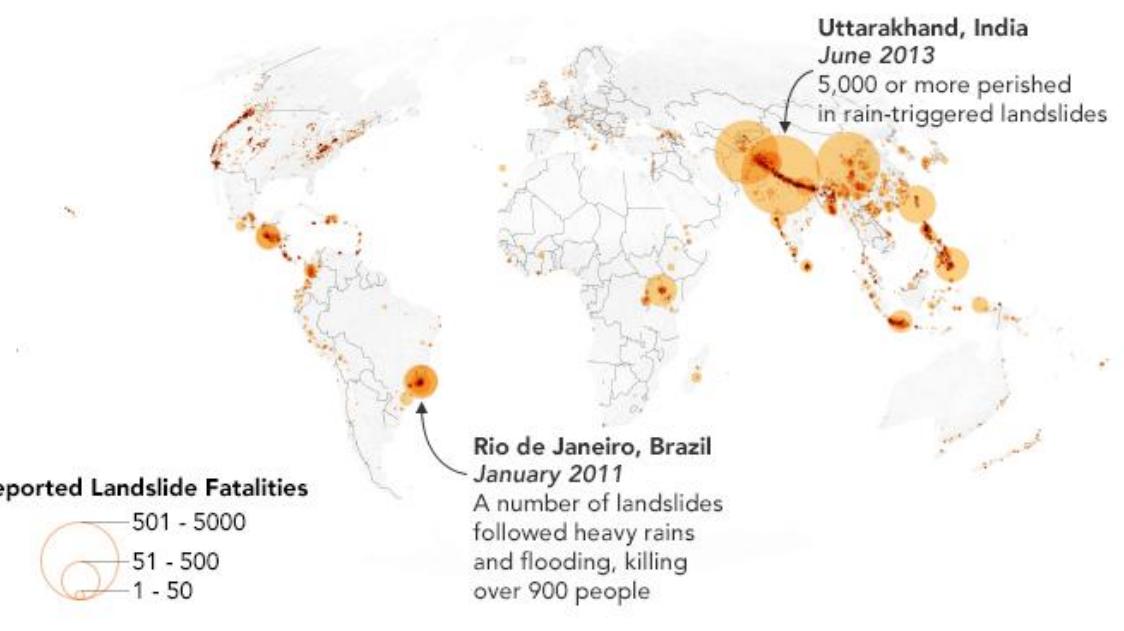
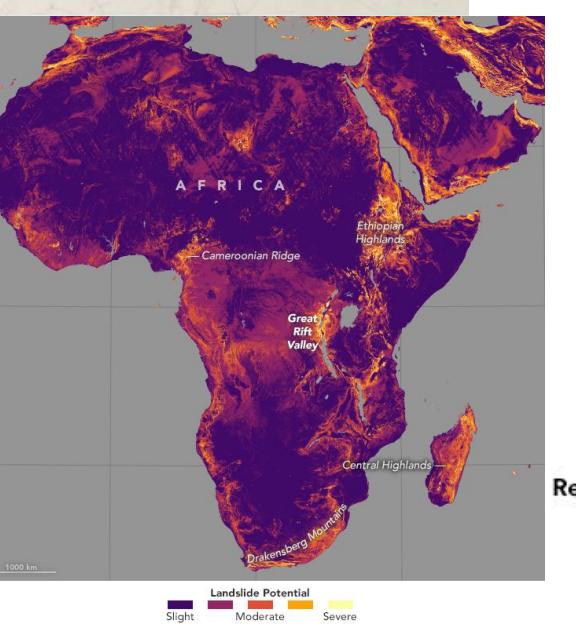
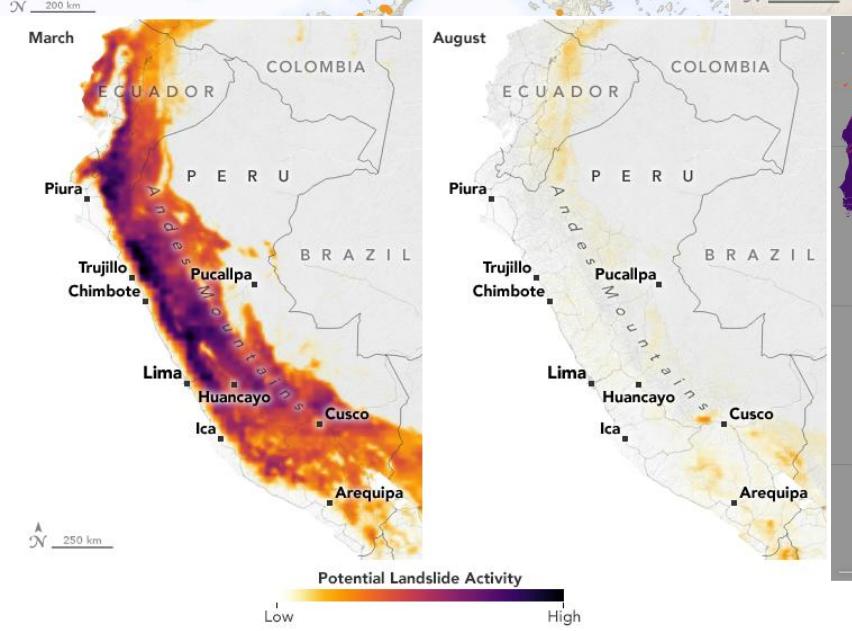
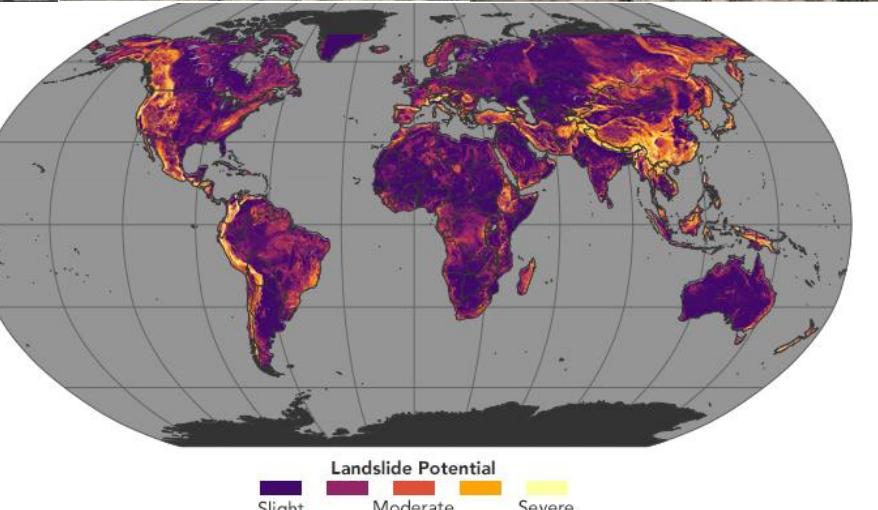
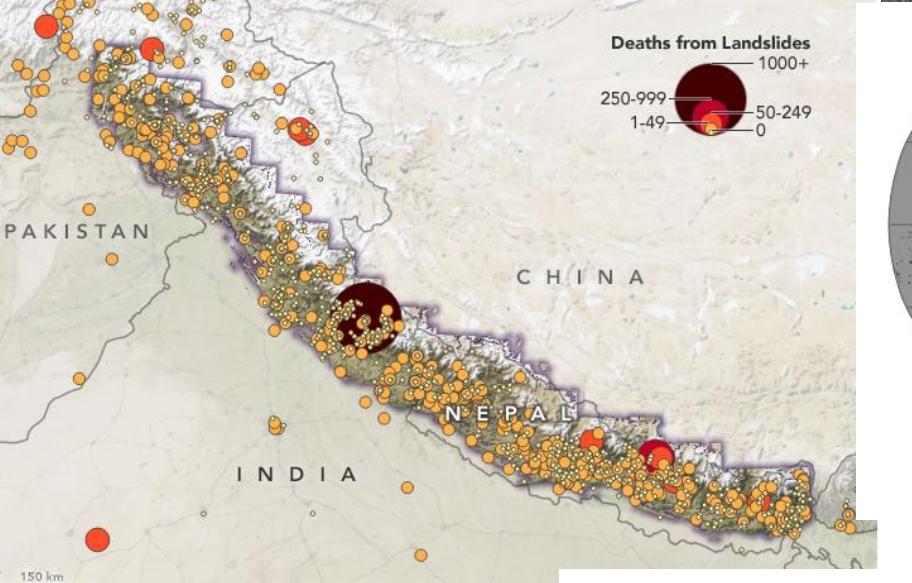
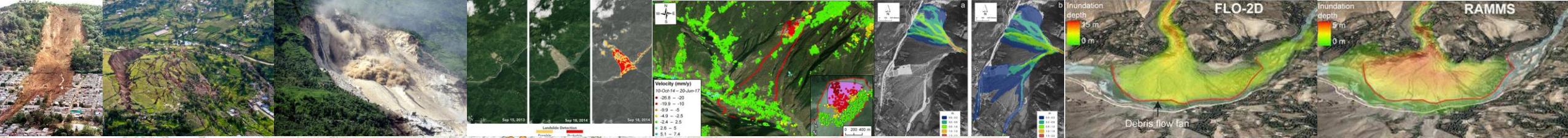


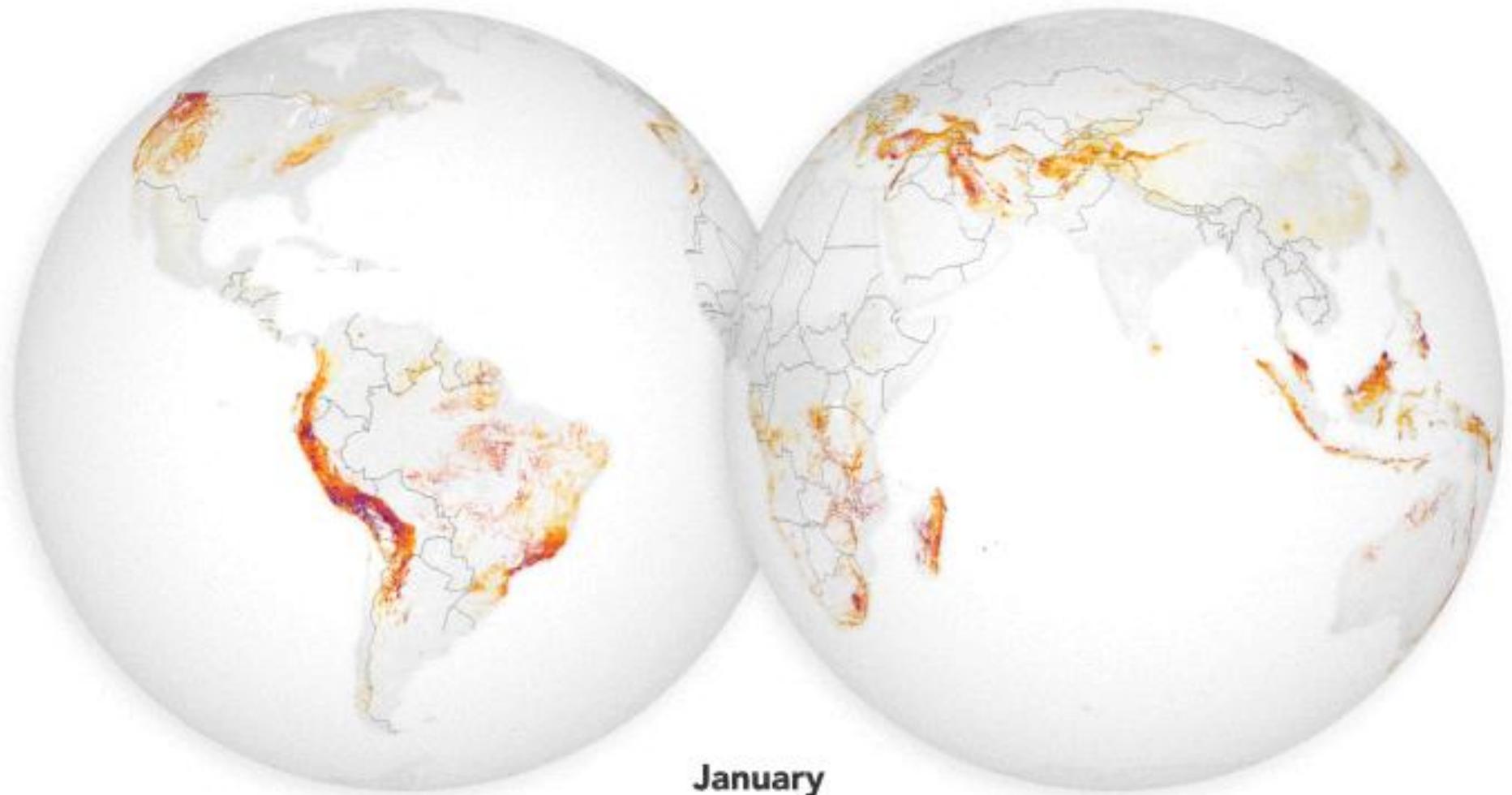
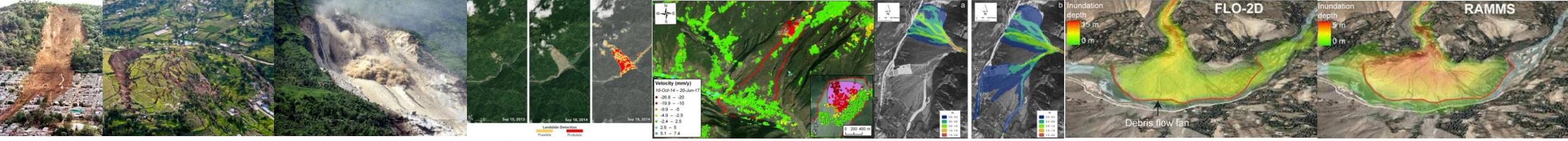
En climas tropicales montañosos como los de Colombia, el **deslizamiento no solo es un desencadenante, sino muchas veces el verdadero responsable de la formación del torrente.**

Por eso, la ciencia que estudia los deslizamientos —la geotecnia, la hidrogeología de laderas, la mecánica de suelos— es el pilar para comprender muchos torrentes.

Ignorar el papel del deslizamiento en el estudio del torrente sería como estudiar un incendio sin preguntarse quién lo encendió





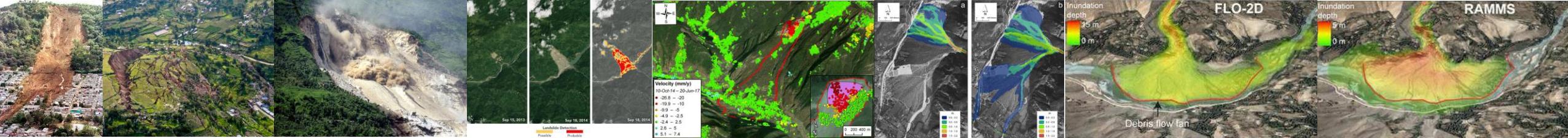


January

Potential Landslide Activity

Low

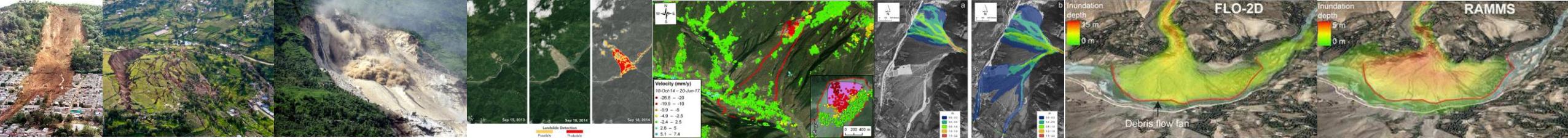
High



¿Qué es un deslizamiento?

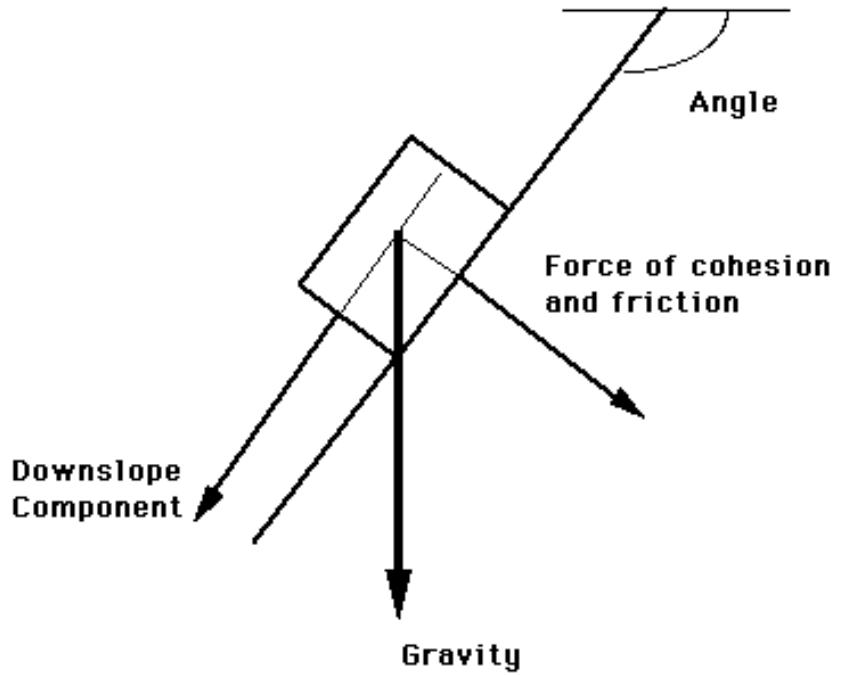
- Un deslizamiento se define como el movimiento de una masa de roca, escombros o tierra ladera abajo.
- El movimiento ladera abajo puede presentarse en forma de caídas, volteos, deslizamientos, expansiones y flujos.
- Los deslizamientos pueden variar en tamaño, desde rocas y bloques individuales hasta fallas de laderas completas con volúmenes movilizados de varios kilómetros cúbicos.
- El término “deslizamiento” abarca procesos dinámicos que van desde caídas de rocas localizadas hasta flujos de escombros altamente móviles y fluidificados.



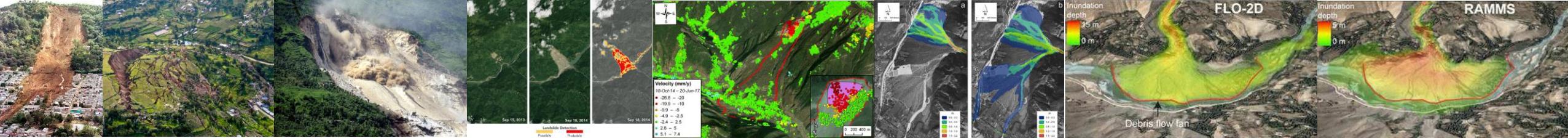


¿Qué causa los deslizamientos?

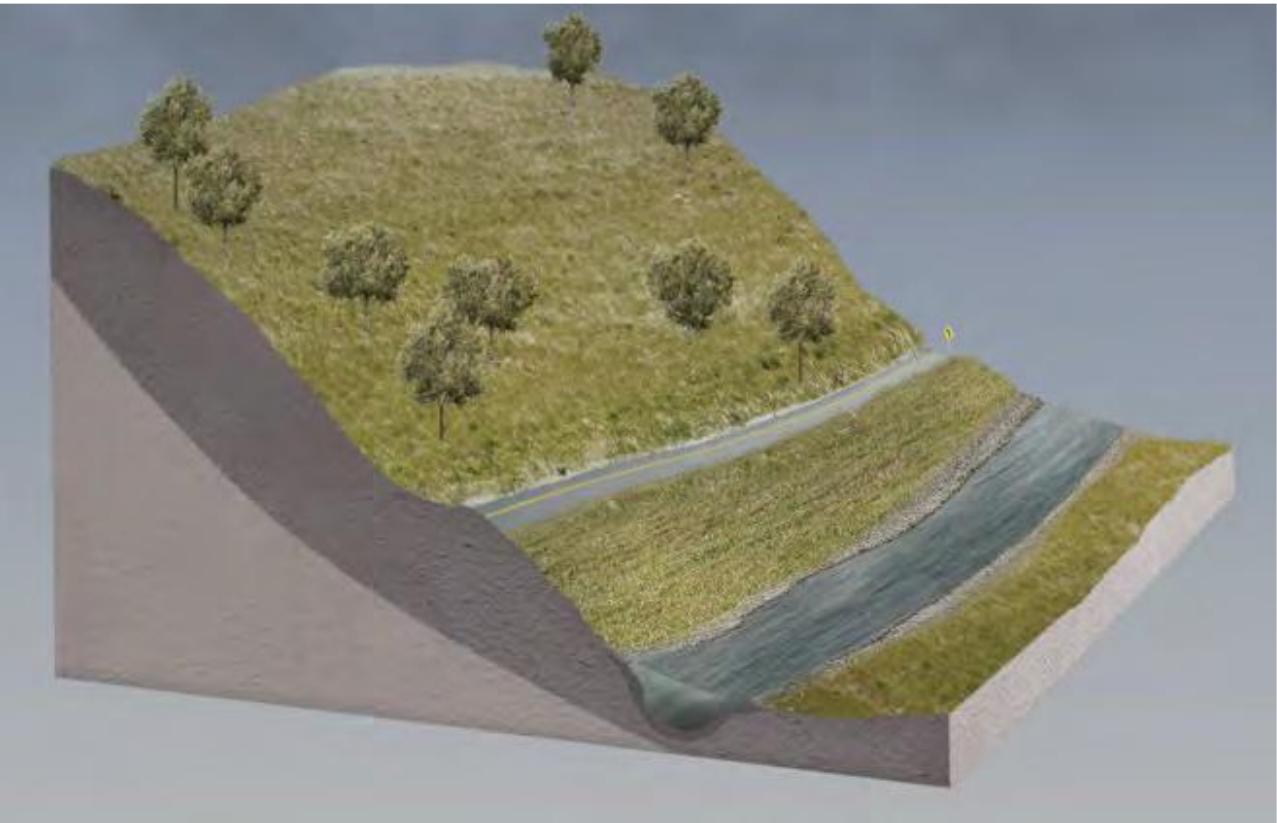
- Ocurre por un Fallo gravitacional y esto ocurre cuando la componente descendente de la fuerza de gravedad sobre una masa de material supera las fuerzas de cohesión y fricción que resisten el movimiento.
- Un concepto importante es el **plano de falla**: la superficie sobre la cual se desplazan los deslizamientos. Esta superficie puede ser compleja.

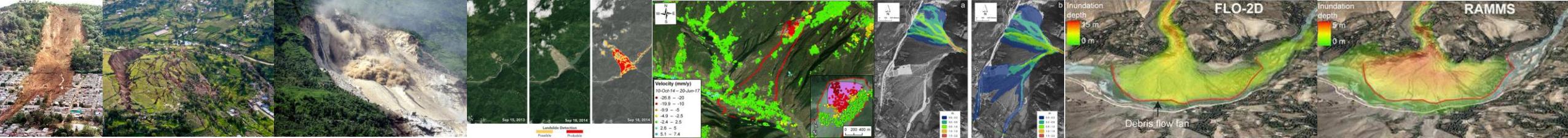


Superficie a lo largo de la cual se produce el movimiento del material



- El agua que se infiltra en los suelos y las rocas puede reducir las fuerzas de cohesión y fricción en una ladera.
- Los deslizamientos desencadenados por la lluvia son una parte crucial de la actividad de deslizamientos.
- El agua también puede movilizar aún más los sedimentos del deslizamiento y favorecer la formación de flujos de escombros.

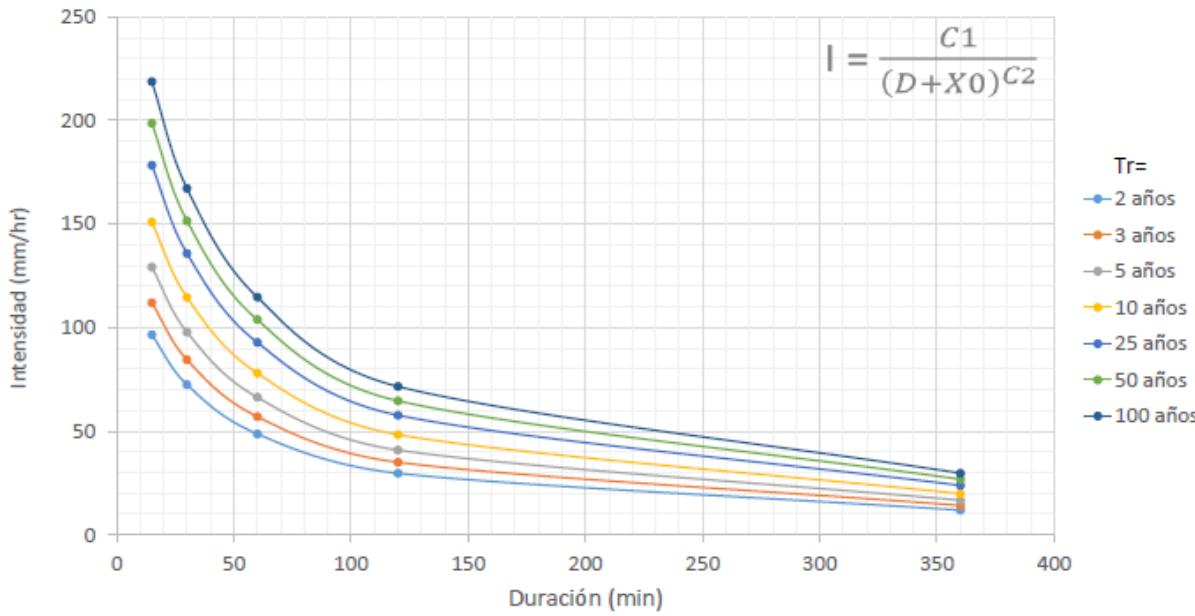


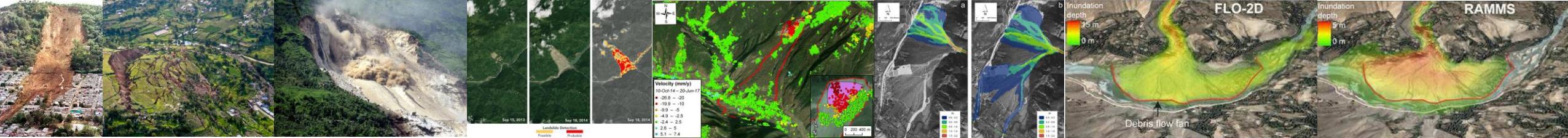


- La **intensidad** y la **duración** de la lluvia determinan la probabilidad de que ocurran deslizamientos.
- Eventos de lluvia prolongados pero de baja intensidad pueden saturar las laderas y provocar deslizamientos, mientras que tormentas cortas e intensas también pueden generar fallos.
- Las estimaciones de umbrales para deslizamientos deben considerar ambos factores: intensidad y duración de la precipitación.



CURVAS INTENSIDAD DURACION FRECUENCIA - IDF
ESTACIÓN: EL SALTO (AMBALEMA)
CÓDIGO: 2125608



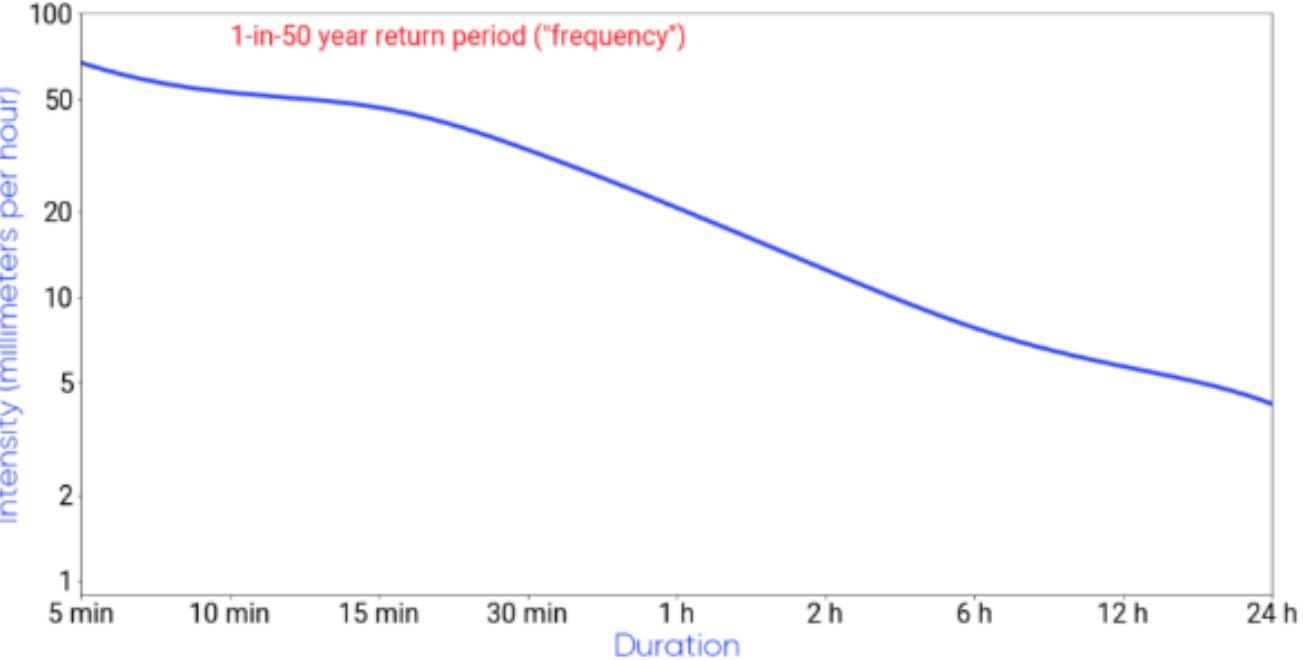


En las curvas IDF se describen tres elementos principales :

Duración : Tiempo que dura el evento de precipitación (en minutos u horas).

Intensidad : La tasa promedio de lluvia durante la duración específica de interés, en unidades como **mm/h**.

Frecuencia o período de retorno (T): : Para planificar eventos extremos de una duración e intensidad específicas, importa la frecuencia con la que ocurren dichos eventos. probabilidad de que un evento de esa magnitud ocurra en un año determinado (por ejemplo, un evento de 50 años tiene una probabilidad del 2% anual).



La probabilidad de que un evento ocurra en un año cualquiera se calcula como:

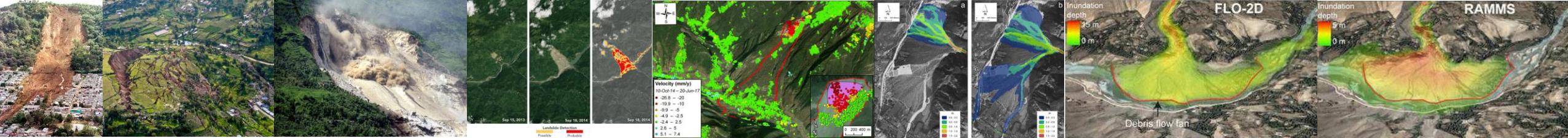
$$P = \frac{1}{T}$$

donde:

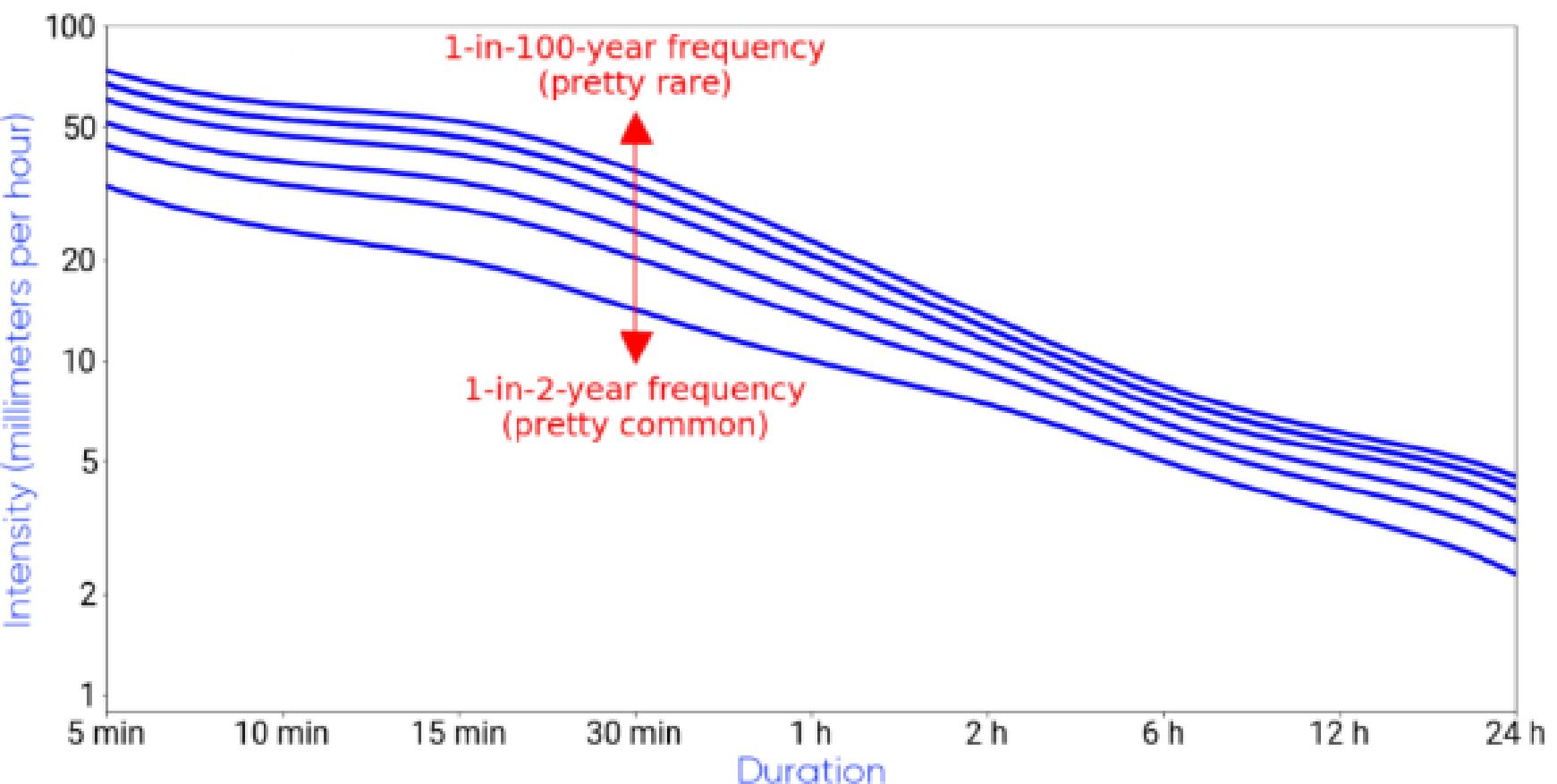
- P : probabilidad anual,
- T : período de retorno (en años).

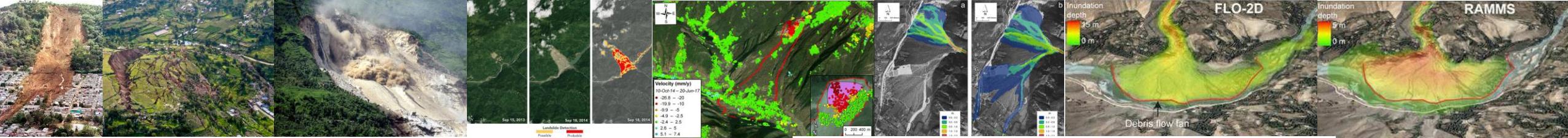
Entonces, para un evento de 50 años:

$$P = \frac{1}{50} = 0,02 = 2\%$$

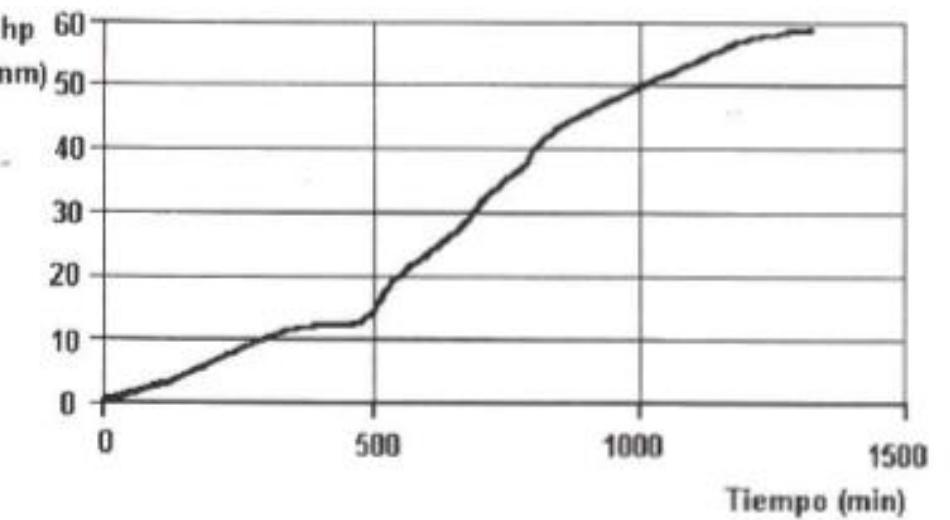
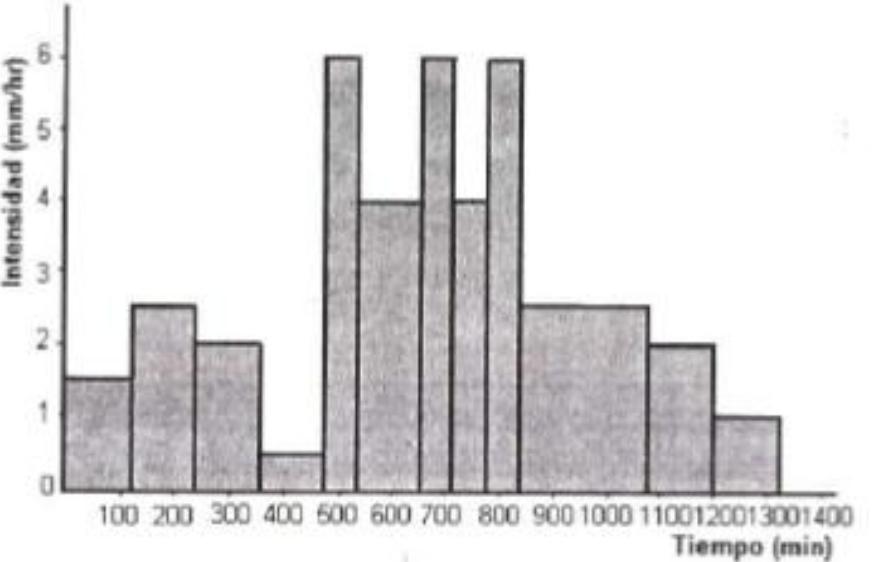


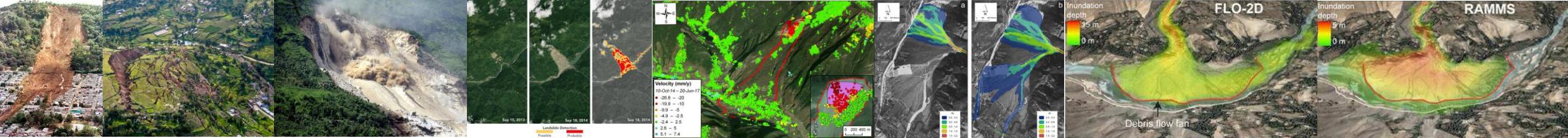
Esto se suele describir como período de retorno, que se define como la frecuencia, en promedio, con la que se espera que ocurra el evento. La frecuencia también puede considerarse en términos de probabilidad. Por ejemplo, un evento con un período de retorno de 1 en 20 años ocurrirá en promedio una vez cada 20 años y, por lo tanto, tiene una probabilidad de 1 en 20 (5 %) de ocurrir cada año.





Hora (1)	Intervalo de tiempo (min) (2)	Tiempo acumulado (min) (3)	Lluvia parcial (mm) (4)	Lluvia acumulada (mm) (5)	Intensidad (mm/hr) (6) (4)×60/(2)
4					
	120	120	3	3	1.5
6					
	120	240	5	8	2.5
8					
	120	360	4	12	2.0
10					
	120	480	1	13	0.5
12					
	60	540	6	19	6.0
13					
	60	600	4	23	4.0
14					
	60	660	4	27	4.0
15					
	60	720	6	33	6.0
16					
	60	780	4	37	4.0
17					
	60	840	6	43	6.0
18					
	240	1080	10	53	2.5
22					
	120	1200	4	57	2.0
24					
	120	1320	2	59	1.0
2					





Aproximaciones empíricas

Existe un gran número de aproximaciones empíricas que relacionan la intensidad (I), la duración (t) y el período de retorno (p), a partir de ajustes a potencias tales como:

Fórmula de Sherman (1931): con tres parámetros (a , c y n), que están en función del período de retorno, p :

$$I(t) = \frac{a}{(t + c)^n}$$

$$I\left(\frac{mm}{h}\right) = \frac{K * Tr^m}{(D + B)^n}$$

Donde:

- I : Intensidad de precipitación (mm/h).
- Tr : Período de retorno (años).
- D : Duración de la lluvia (min o h).
- K, B, m, n : Coeficientes empíricos derivados de ajustes estadísticos.

Fórmula de Chow (1962): con tres parámetros (a , c y n), para un período de retorno p determinado

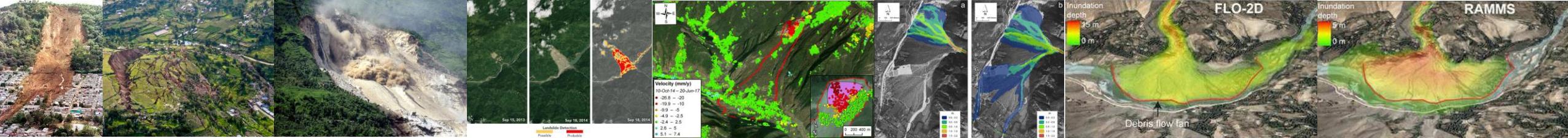
$$I(t) = \frac{a}{t^n + c}$$

Chow, V. T. (1962): Hydrologic determination of waterway areas for drainage structures in small drainage basins, Engrg. Experimental Station, Univ. of Illinois, Urbana, I11, Illinois, bulletin No. 462.

Función potencial, según Aparicio (1997), con cuatro parámetros (k , c , m y n), ya ajustados para todos los períodos de retorno de interés:

$$I(t, p) = k * \frac{p^m}{(t + c)^n}$$

Aparicio, F. (1997): Fundamentos de Hidrología de Superficie. Balderas, México, Limusa. 303 p.



$$i = \frac{a \times T^b \times M^d}{(t/60)^c} \quad [2.103]$$

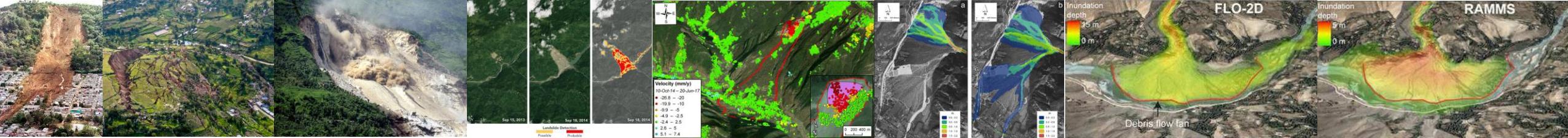
- Donde:
- i: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).
 - T: Periodo de retorno, en años.
 - M: Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual
 - t: Duración de la lluvia, en minutos (min).
 - a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados como se presenta en la Figura 2.13, y sus valores se presentan en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12.- Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas intensidad-duración-frecuencia, IDF, para Colombia

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Método simplificado

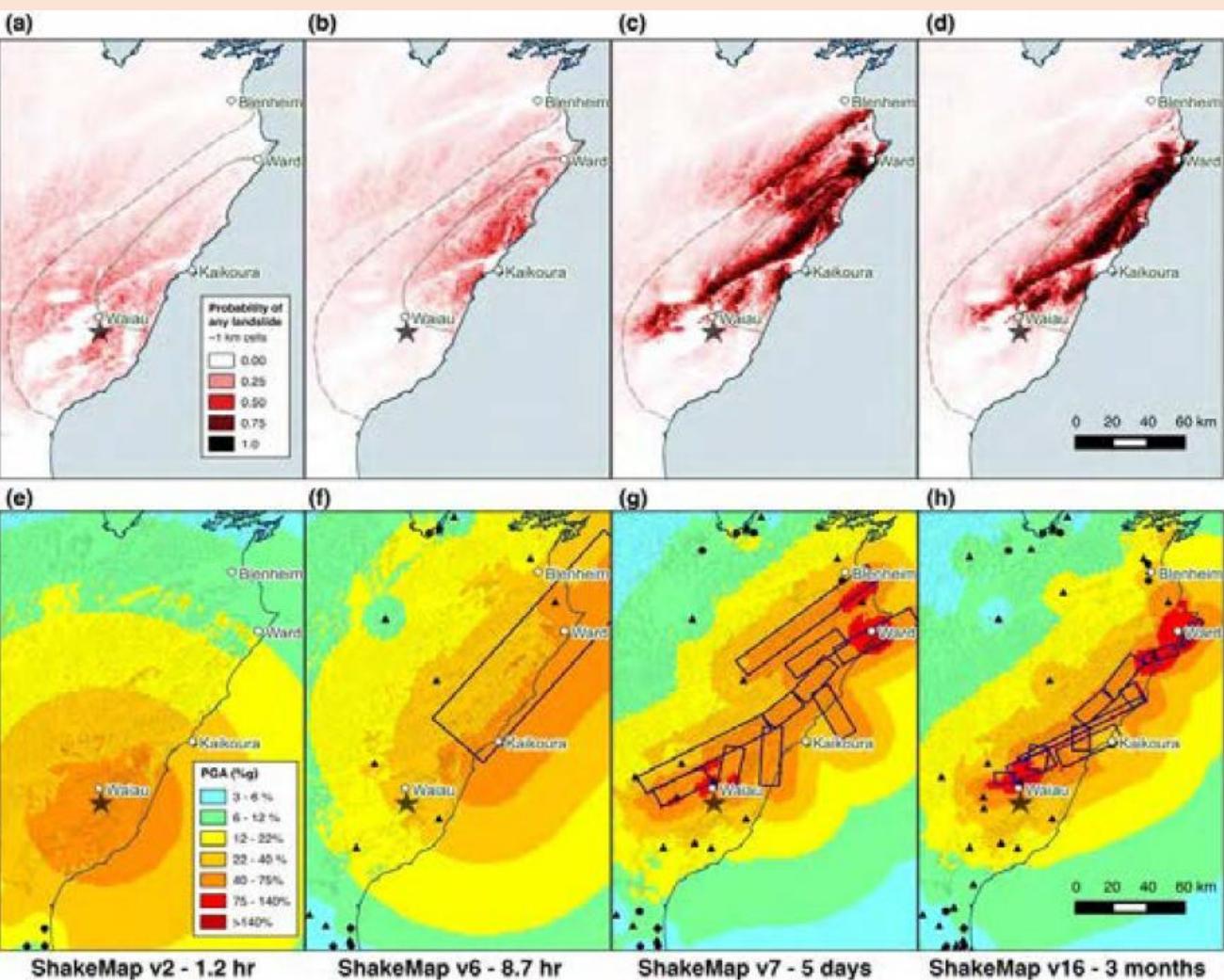


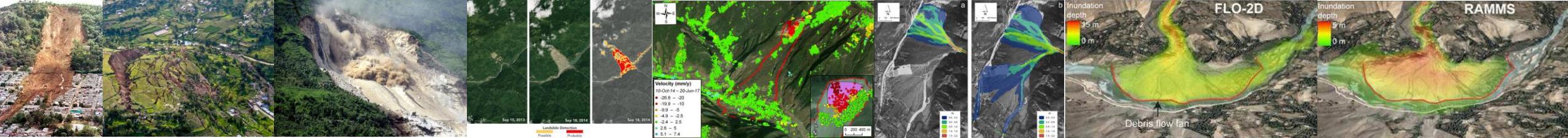


Mapas relacionados con el terremoto de Kaikōura (Nueva Zelanda, 2016) y su relación con la probabilidad y ocurrencia de deslizamientos inducidos por el sismo, así como la evolución temporal de los mapas de sacudida sísmica (ShakeMap).

- Los terremotos fuertes son un factor importante que desencadena deslizamientos.
- La profundidad, intensidad y orientación del plano de falla** de un sismo influyen en la probabilidad y magnitud de los deslizamientos.
- La **sacudida sísmica** es más intensa en las partes altas de las laderas, mientras que la **saturación por fluidos** suele aumentar en las zonas bajas; esto conduce a una **distribución diferenciada** en la ubicación de los deslizamientos.

Se observa cómo los modelos de deslizamientos (arriba) mejoran con el tiempo, a medida que los mapas de sacudimiento (abajo) se refinan. Las áreas más afectadas por la sacudida intensa coinciden con las zonas de alta probabilidad de deslizamientos, lo cual resalta la relación directa entre intensidad sísmica y riesgo de movimientos en masa.

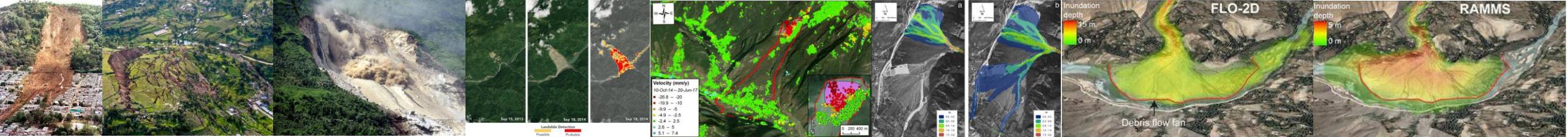




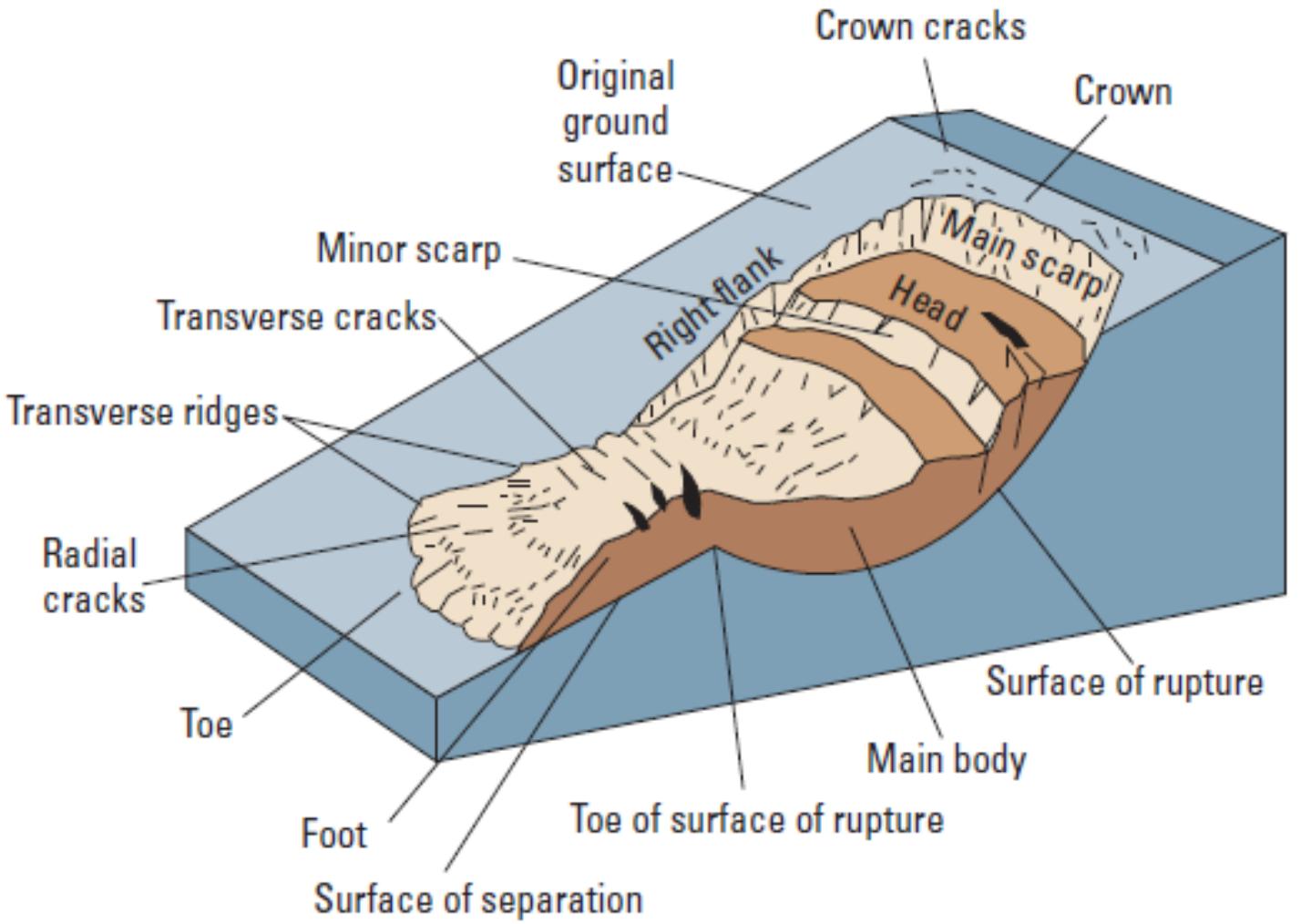
Otros factores pueden desencadenar deslizamientos en ciertos entornos:

- Los procesos de congelación y descongelación pueden provocar la fractura de rocas y fallas.
- Procesos provocados por el ser humano –por ejemplo, la deforestación, urbanización y carga de agua– pueden ser determinantes.
- Los volcanes pueden desencadenar deslizamientos devastadores, como el del Monte St. Helens (USGS)
- La erosión causada por el oleaje también puede desempeñar un papel importante.

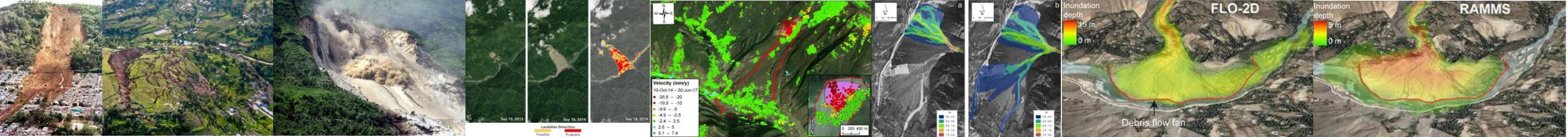




PARTS OF A LANDSLIDE



- **Crown cracks** → Grietas de la corona
- **Crown** → Corona
- **Original ground surface** → Superficie original del terreno
- **Main scarp** → Escarpe principal
- **Head** → Cabeza
- **Right flank** → Flanco derecho
- **Minor scarp** → Escarpe secundario
- **Transverse cracks** → Grietas transversales
- **Transverse ridges** → Crestas transversales
- **Radial cracks** → Grietas radiales
- **Toe** → Frente o extremo del deslizamiento
- **Foot** → Pie
- **Surface of separation** → Superficie de separación
- **Toe of surface of rupture** → Frente de la superficie de ruptura
- **Main body** → Cuerpo principal
- **Surface of rupture** → Superficie de ruptura

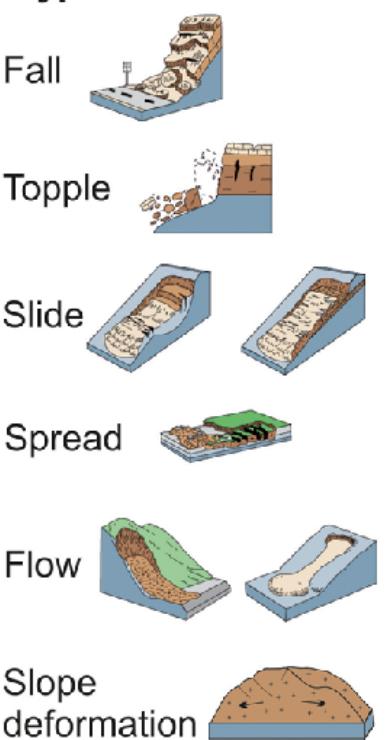


TIPOS DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA

El término "**deslizamiento de tierra**" describe una amplia variedad de procesos que resultan en el movimiento descendente y ascendente de los materiales que forman las pendientes, incluyendo roca, tierra, relleno artificial o una combinación de estos. **Los materiales pueden moverse por caída, derrumbe, deslizamiento, propagación o flujo.**

Type of Movement	Materials	
	Rock	Soil
Rotational		
Slump(a)		Slump(b)
Translational		
	Rock slide(c)	Soil slide (slip)(d)
Falls	Rock fall(e)	Soil fall
Slow	Rock creep	Soil creep(f)
	Unconsolidated rock and soil (saturated)	
	Earth flow(g)	
	Debris flow / mud flow(h)	
Rapid	Debris avalanche(i)	
Flow		
Very rapid		
Lateral spread	Rock(j)	Soil
Subsidence	Rock(k)	Soil
Complex	Combination of slides, slumps, and flows(l)	

Type of movement



Landslide velocity scale [mm/s]

Extremely Slow ($\leq 5 \times 10^{-7}$)

Very Slow ($> 5 \times 10^{-7}$ & $\leq 5 \times 10^{-5}$)

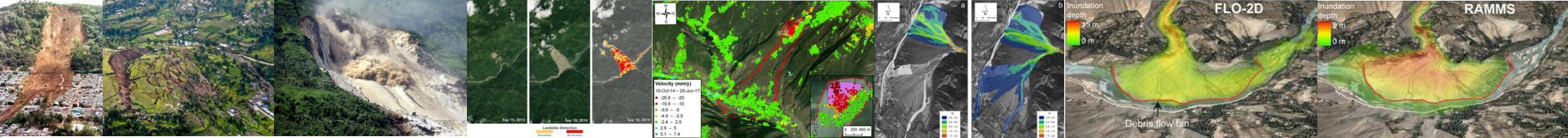
Slow ($> 5 \times 10^{-5}$ & $\leq 5 \times 10^{-3}$)

Moderate ($> 5 \times 10^{-3}$ & $\leq 5 \times 10^{-1}$)

Rapid ($> 5 \times 10^{-1}$ & $\leq 5 \times 10^1$)

Very rapid ($> 5 \times 10^1$ & $\leq 5 \times 10^3$)

Extremely rapid ($> 5 \times 10^3$)



ROTATIONAL LANDSLIDE

Ground rotates and slides along a curved failure plane.



TYPES OF LANDSLIDES

Deslizamiento rotacional: es un deslizamiento en el que la superficie de ruptura está curvada cóncavamente hacia arriba y el movimiento del deslizamiento es aproximadamente rotacional alrededor de un eje paralelo a la superficie del suelo y transversal al deslizamiento.

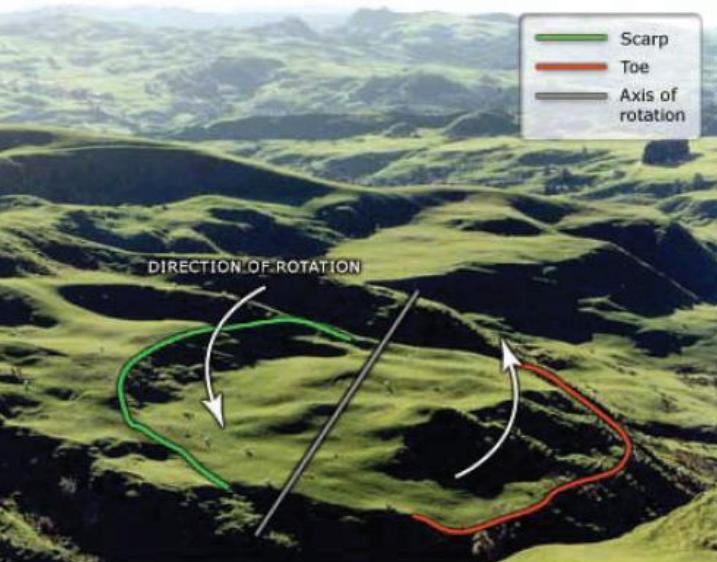
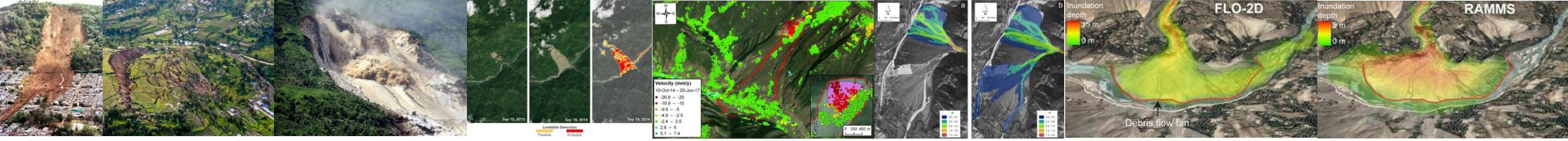
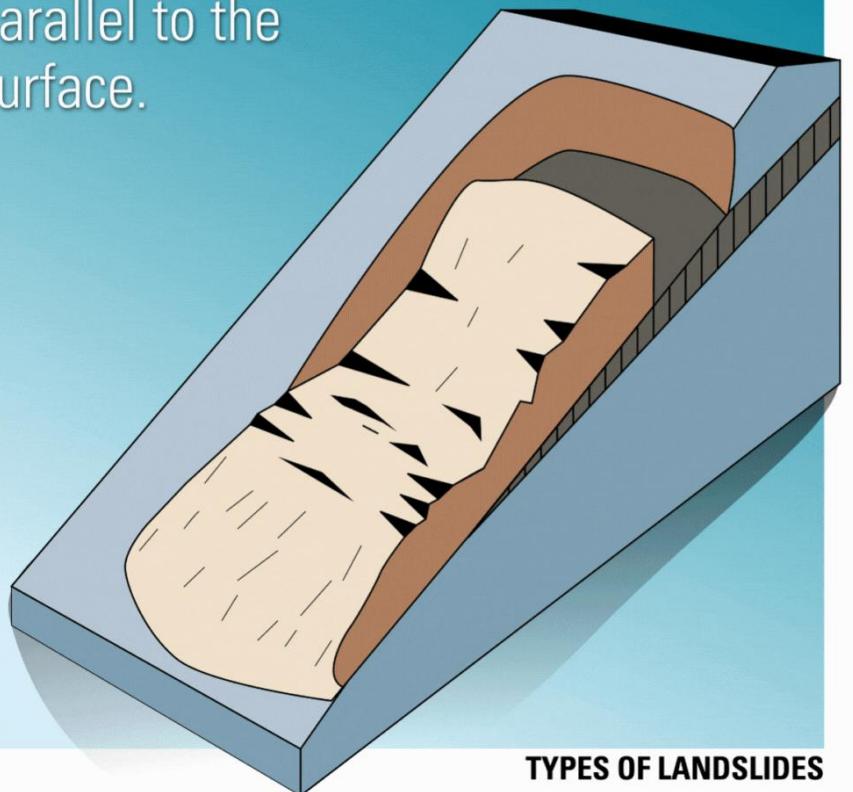


Figure 8. Photograph of a rotational landslide which occurred in New Zealand. The



TRANSLATIONAL LANDSLIDE

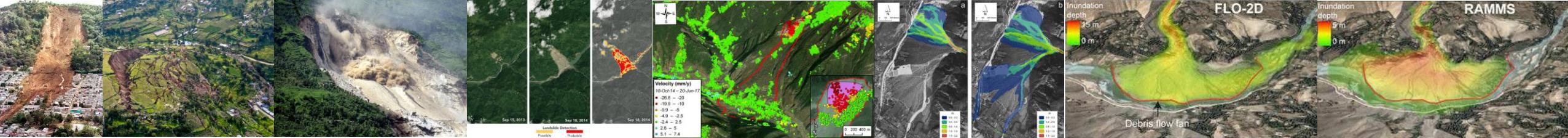
Ground slides with little rotation along a flat plane parallel to the surface.



Deslizamiento translacional: en este tipo de deslizamiento, la masa del terreno se mueve a lo largo de una superficie aproximadamente plana con poca rotación o inclinación hacia atrás.

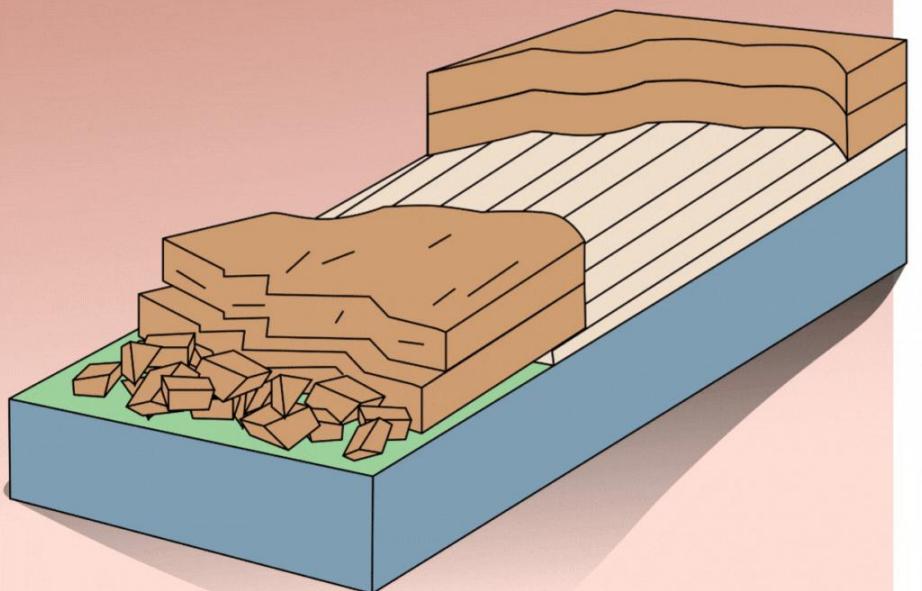


Figure 10. A translational landslide that occurred in 2001 in the Beatton River Valley, British Columbia, Canada. (Photograph by Réjean Couture, Canada Geological Survey.)



BLOCK SLIDE

A type of translational landslide made of mostly one block of surface material that moves downslope.

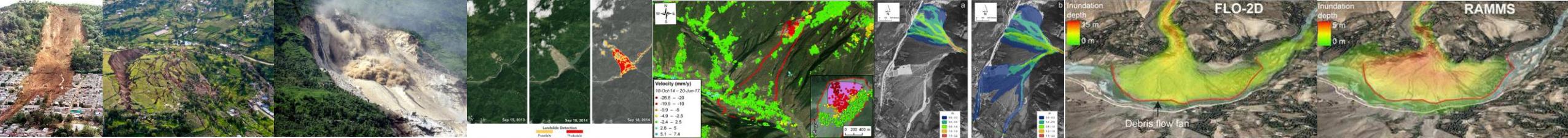


TYPES OF LANDSLIDES

Deslizamiento en bloque: es un deslizamiento translacional en el que la masa en movimiento consiste en una sola unidad o unas pocas unidades estrechamente relacionadas que se mueven pendiente abajo como una masa relativamente coherente.

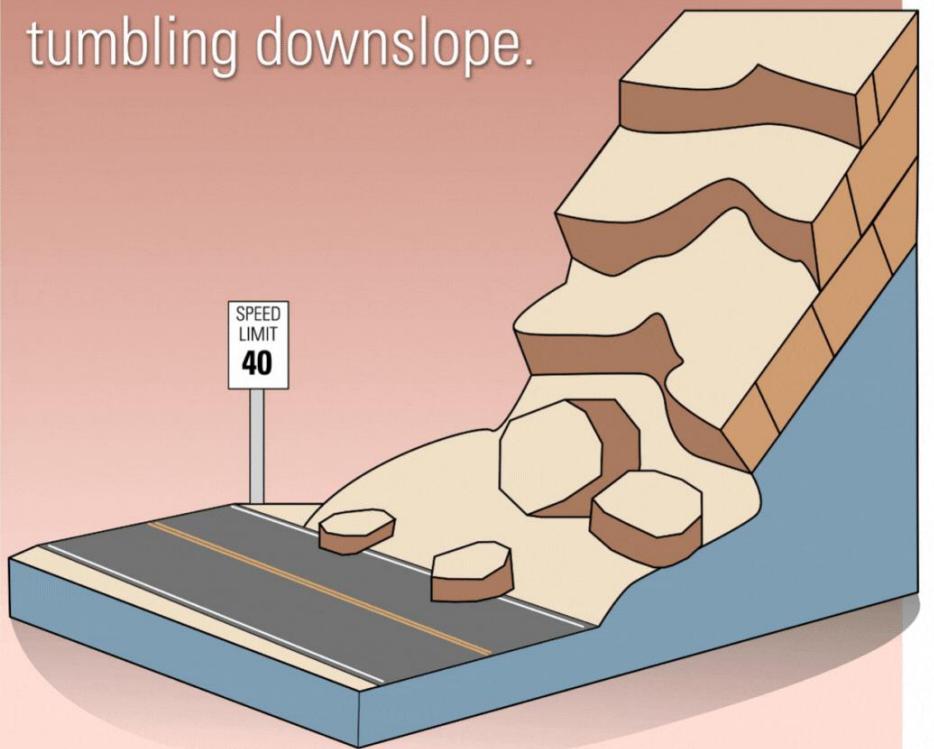


Figure 12. Photograph of lateral spread damage to a roadway as a result of the 1989 Loma Prieta, California, USA, earthquake. (Photograph by Steve Ellen, U.S. Geological Survey.)



ROCKFALL

Gravity sends rocks and other materials tumbling downslope.

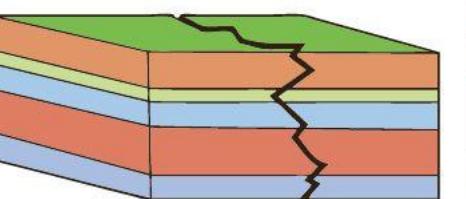


TYPES OF LANDSLIDES



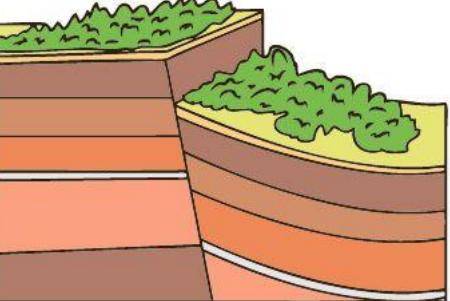
Los desprendimientos de rocas: son movimientos abruptos de masas de materiales geológicos, como rocas y cantos rodados, que se desprenden de laderas o acantilados empinados. La separación se produce a lo largo de discontinuidades como fracturas, diaclasas y planos de estratificación, y el movimiento se produce por caída libre, rebote y rodadura. Los desprendimientos están fuertemente influenciados por la gravedad, la meteorización mecánica y la presencia de agua intersticial.

Estructuras geológicas



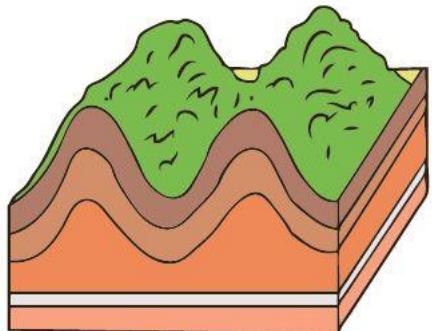
Diaclasas

Son **fracturas en las rocas**, sin desplazamiento



Fallas

Son **fracturas en las rocas**, con desplazamiento



Piegues

Son **ondulaciones de capas**

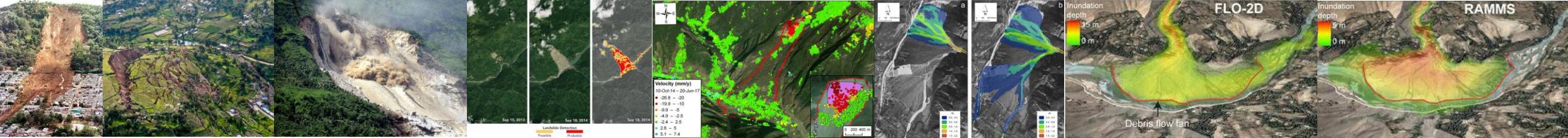
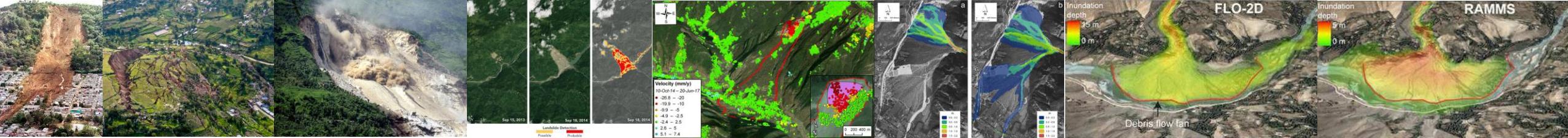
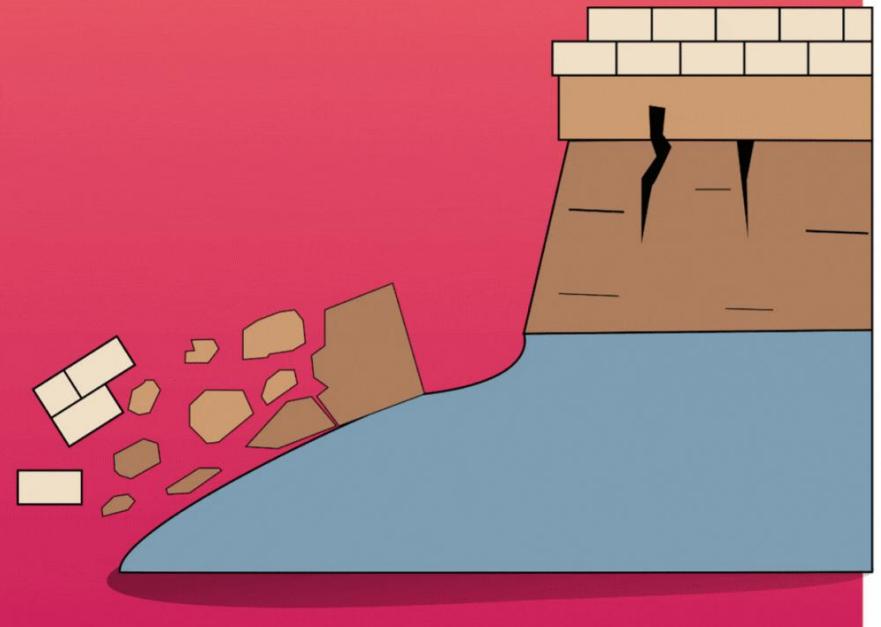


Figure 4. A rockfall-slide that occurred in Clear Creek Canyon, Colorado, USA, in 2005, closing the canyon to traffic for a number of weeks. The photograph also shows an example of a rock curtain, a barrier commonly applied over hazardous rock faces (right center of photograph). (Photograph by Colorado Geological Survey.)



TOPPLE

Pieces of a cliff or rock face fall forward as large blocks.

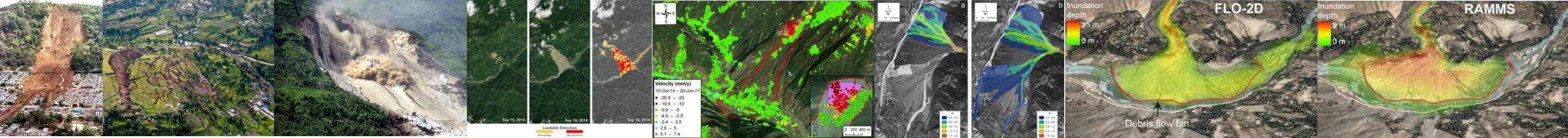


TYPES OF LANDSLIDES

Las fallas por vuelco: se distinguen por la rotación hacia adelante de una unidad o unidades alrededor de algún punto pivotante, debajo o en la parte baja de la unidad, bajo la acción de la gravedad y las fuerzas ejercidas por unidades adyacentes o por fluidos en las grietas.

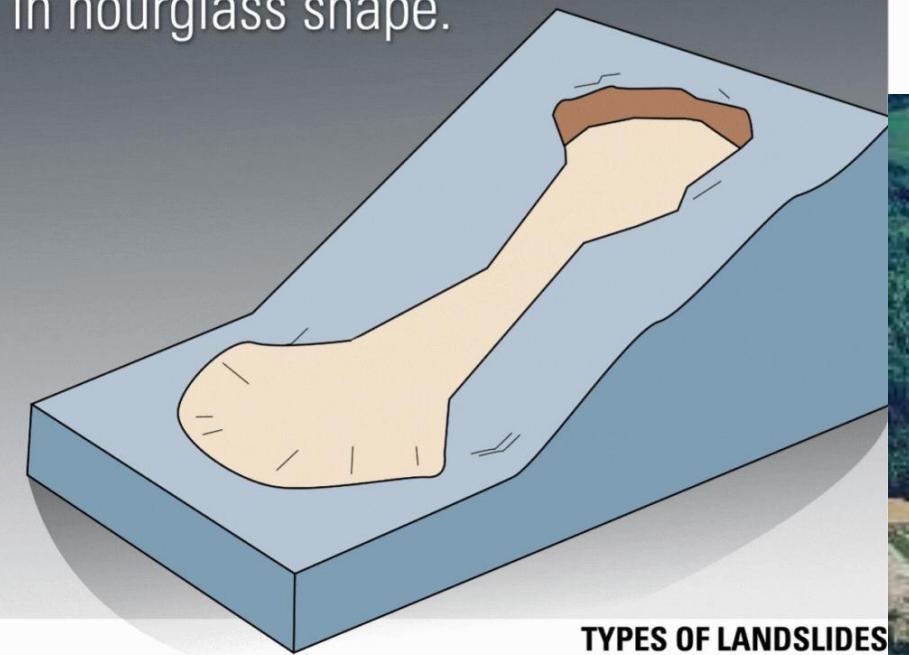


Figure 6. Photograph of block toppling at Fort St. John, British Columbia, Canada.
(Photograph by G. Bianchi Fasani.)



EARTHFLOW

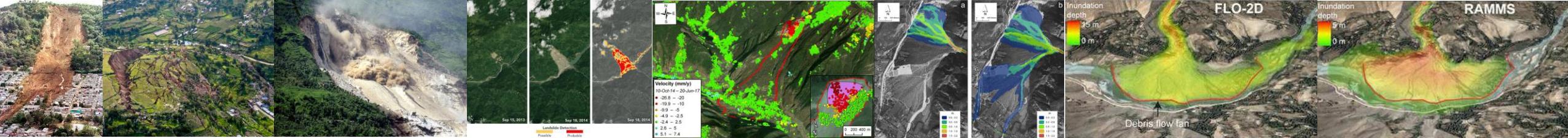
Form on moderate slopes when fine-grained material liquefies and runs out in hourglass shape.



TYPES OF LANDSLIDES

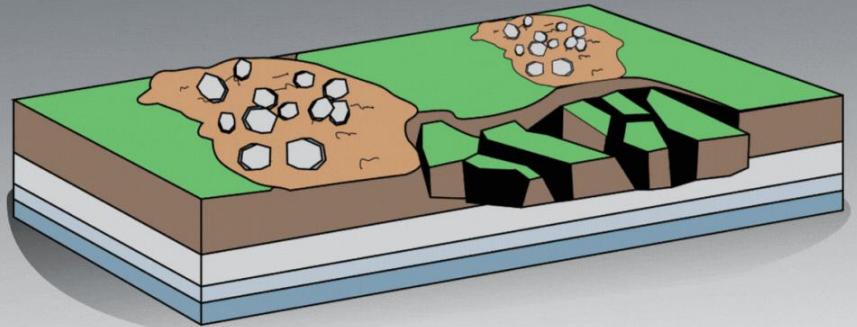
Flujos de tierra: tienen una forma característica de "reloj de arena". El material de la ladera se licua y se escurre, formando un cuenco o depresión en la cabecera. El flujo en sí es alargado y suele presentarse en materiales de grano fino o rocas arcillosas en pendientes moderadas y en condiciones de saturación. Sin embargo, también son posibles flujos secos de material granular.





LATERAL SPREAD

When surface material extends or spreads on gentle slopes. This type of ground deformation is often associated with earthquake shaking.



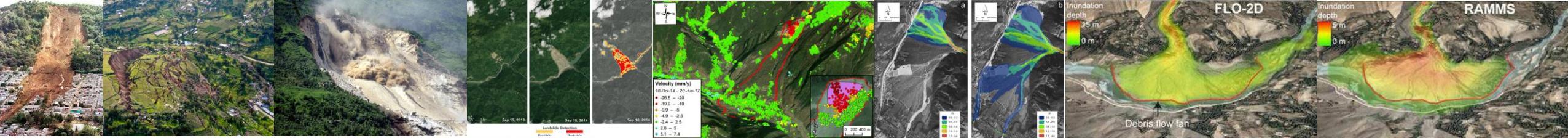
TYPES OF LANDSLIDES

Expansion lateral: se distinguen por ocurrir generalmente en pendientes muy suaves o terrenos planos. El modo de movimiento predominante es la extensión lateral, acompañada de fracturas por cizallamiento o tracción.

La falla se produce por licuefacción, proceso mediante el cual sedimentos saturados, sueltos y sin cohesión (generalmente arenas y limos) pasan de un estado sólido a uno licuado.

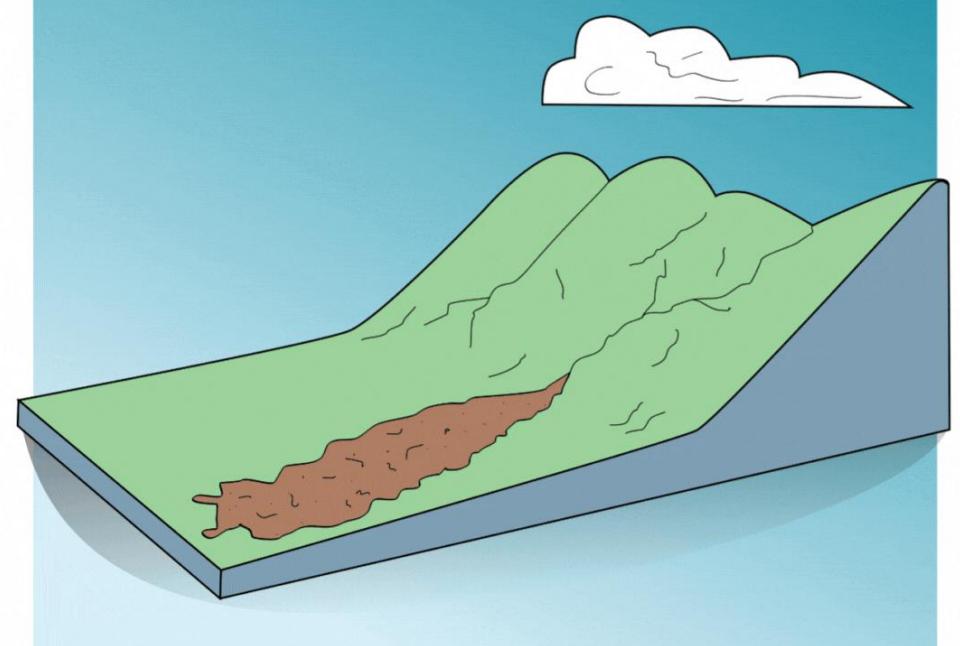
La falla suele desencadenarse por movimientos rápidos del terreno, como los que se producen durante un terremoto, pero también puede inducirse artificialmente.

Es un fenómeno que ocurre cuando un suelo saturado con agua pierde su resistencia y rigidez debido a un aumento repentino en la presión del agua intersticial, generalmente provocado por un **sismo** o una vibración intensa.



DEBRIS FLOW

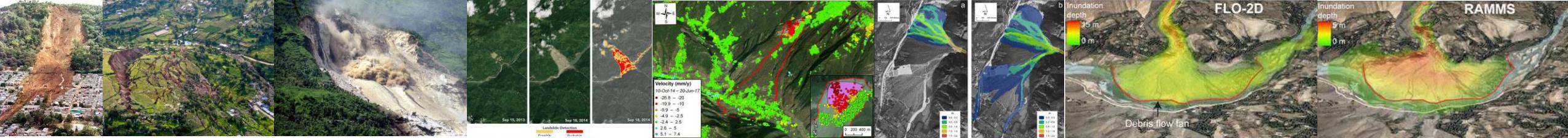
Rapidly moving mix of water, mud, trees, and other materials that flows downvalley and can travel great distances.



Flujo de escombros: es una forma de movimiento rápido de masas en el que una combinación de tierra suelta, roca, materia orgánica, aire y agua se moviliza como una suspensión que fluye pendiente abajo. Los flujos de escombros incluyen <50% de finos. Los flujos de escombros son comúnmente causados por un flujo intenso de agua superficial, debido a fuertes precipitaciones o al rápido deshielo, que erosiona y moviliza la tierra suelta o la roca en pendientes pronunciadas.

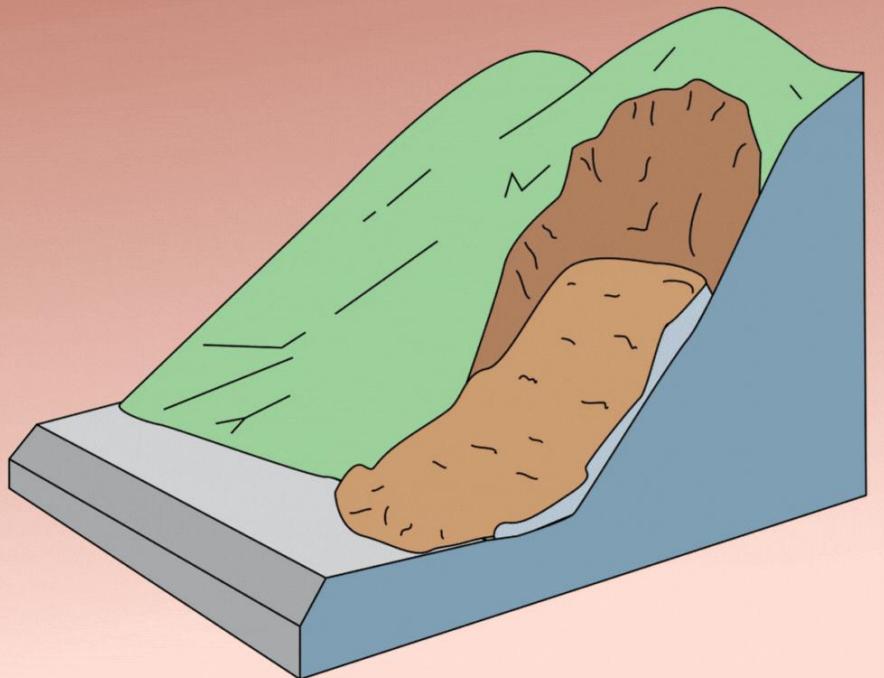


Figure 14. Debris-flow damage to the city of Caraballeda, located at the base of the Cordillera de la Costan, on the north coast of Venezuela. In December 1999, this area was hit by Venezuela's worst natural disaster of the 20th century; several days of torrential rain triggered flows of mud, boulders, water, and trees that killed as many as 30,000 people. (Photograph by L.M. Smith, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers.)



DEBRIS AVALANCHE

An extremely large and fast moving debris flow.



TYPES OF LANDSLIDES

Avalancha de escombros: es una variedad de flujo de escombros que se mueve muy rápido a extremadamente rápido.



Figure 18. A debris avalanche that buried the village of Guinsaugon, Southern Leyte, Philippines, in February 2006. (Photograph by University of Tokyo Geotechnical Team.) Please see figure 30 for an image of another debris avalanche.

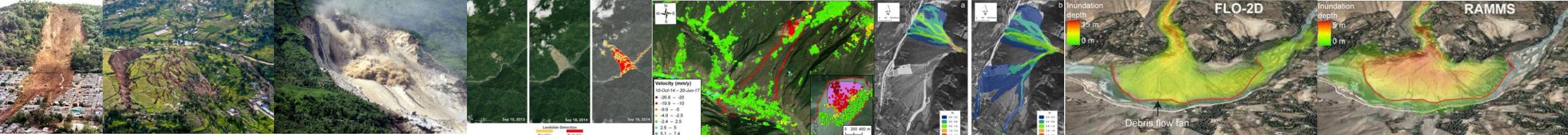


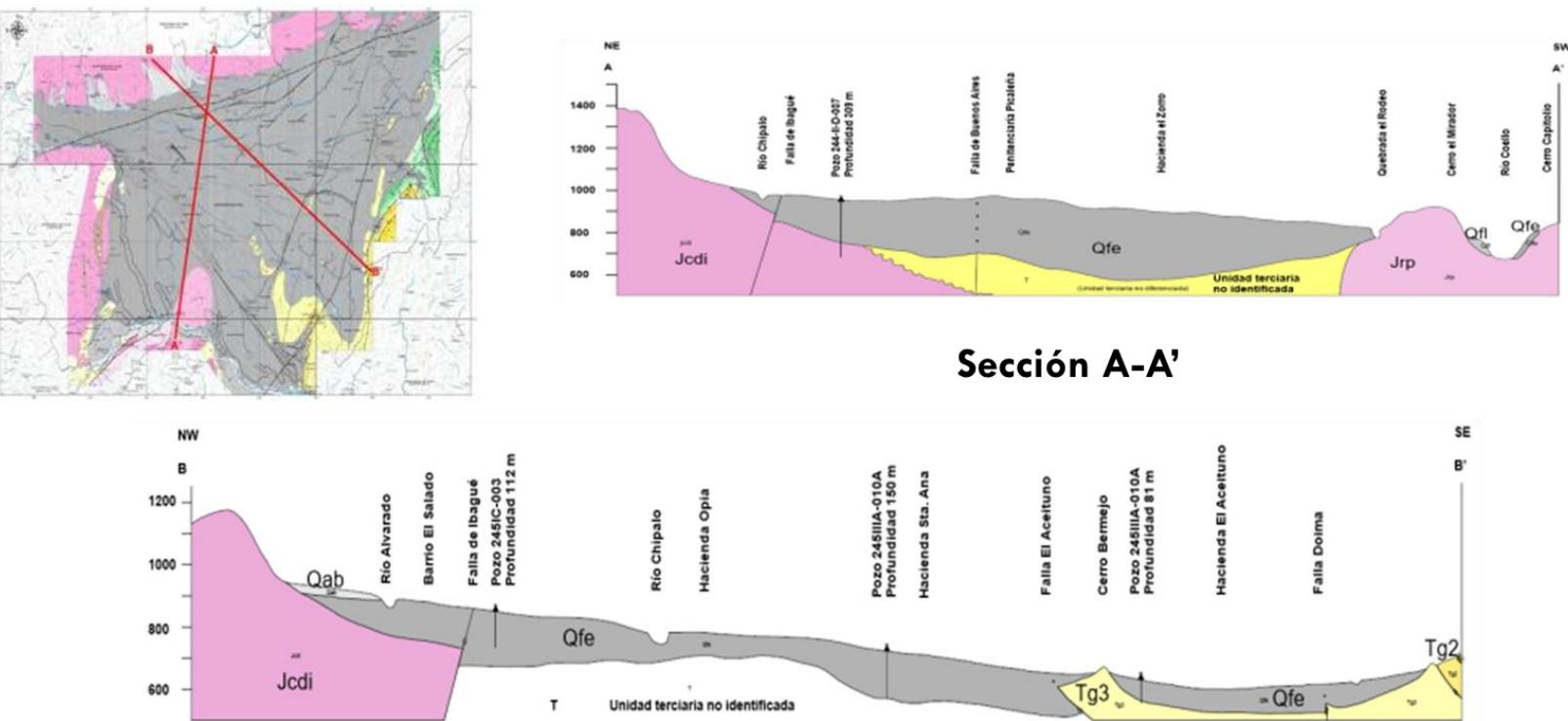
Figure 15. Schematic of a lahar. (Graphic by U.S. Geological Survey.)

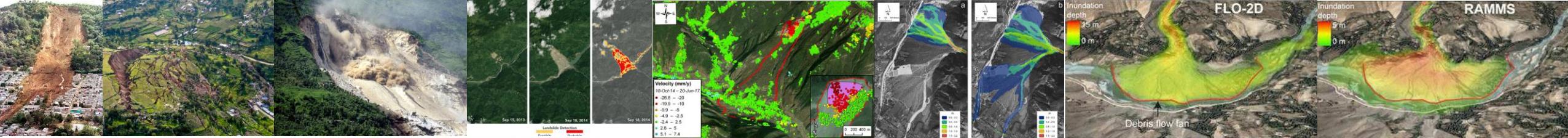


Figure 16. Photograph of a lahar caused by the 1982 eruption of Mount St. Helens in Washington, USA. (Photograph by Tom Casadevall, U.S. Geological Survey.)

Lahares (Flujos de Escombros Volcánicos): La palabra “lahar” es un término indonesio. Los lahares también se conocen como flujos de lodo volcánico. Son flujos que se originan en las laderas de los volcanes y constituyen un tipo de flujo de escombros. Un lahar moviliza las acumulaciones sueltas de tefra (los sólidos expulsados al aire durante una erupción volcánica) y otros escombros relacionados.

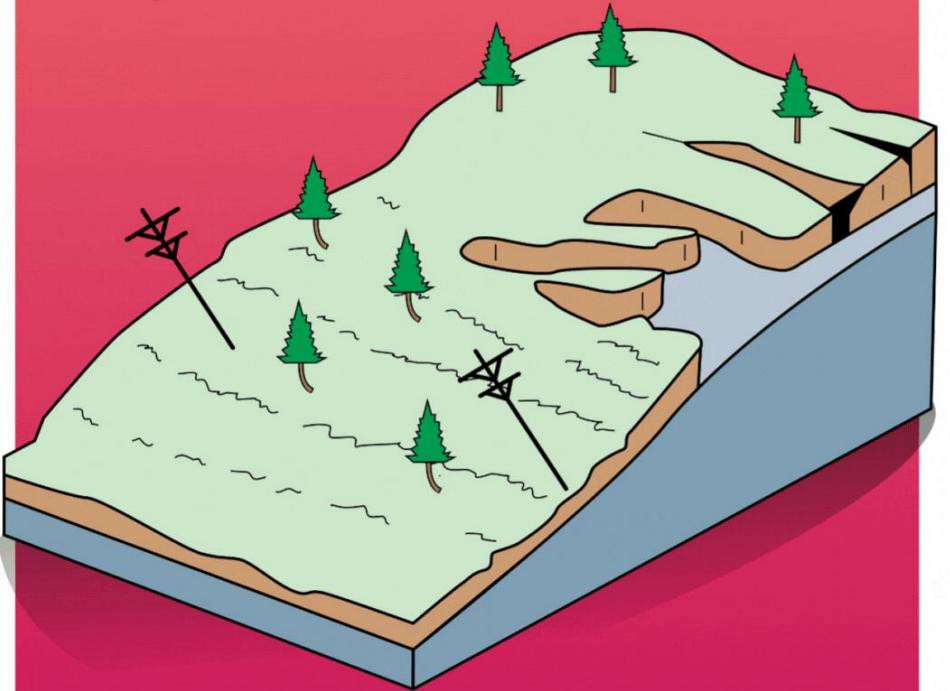
GEOLOGÍA EN EL SISTEMA ACUÍFERO DE IBAGUÉ





CREEP

Soil and surface material that slowly moves down a slope.



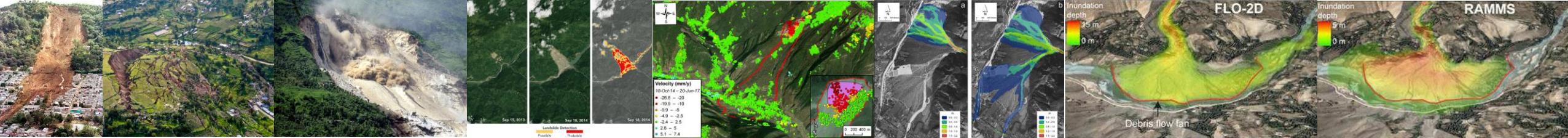
TYPES OF LANDSLIDES

Deslizamiento: Es un movimiento lento y descendente del suelo o roca en laderas, que ocurre sin llegar a una falla por corte, pero con deformación permanente.

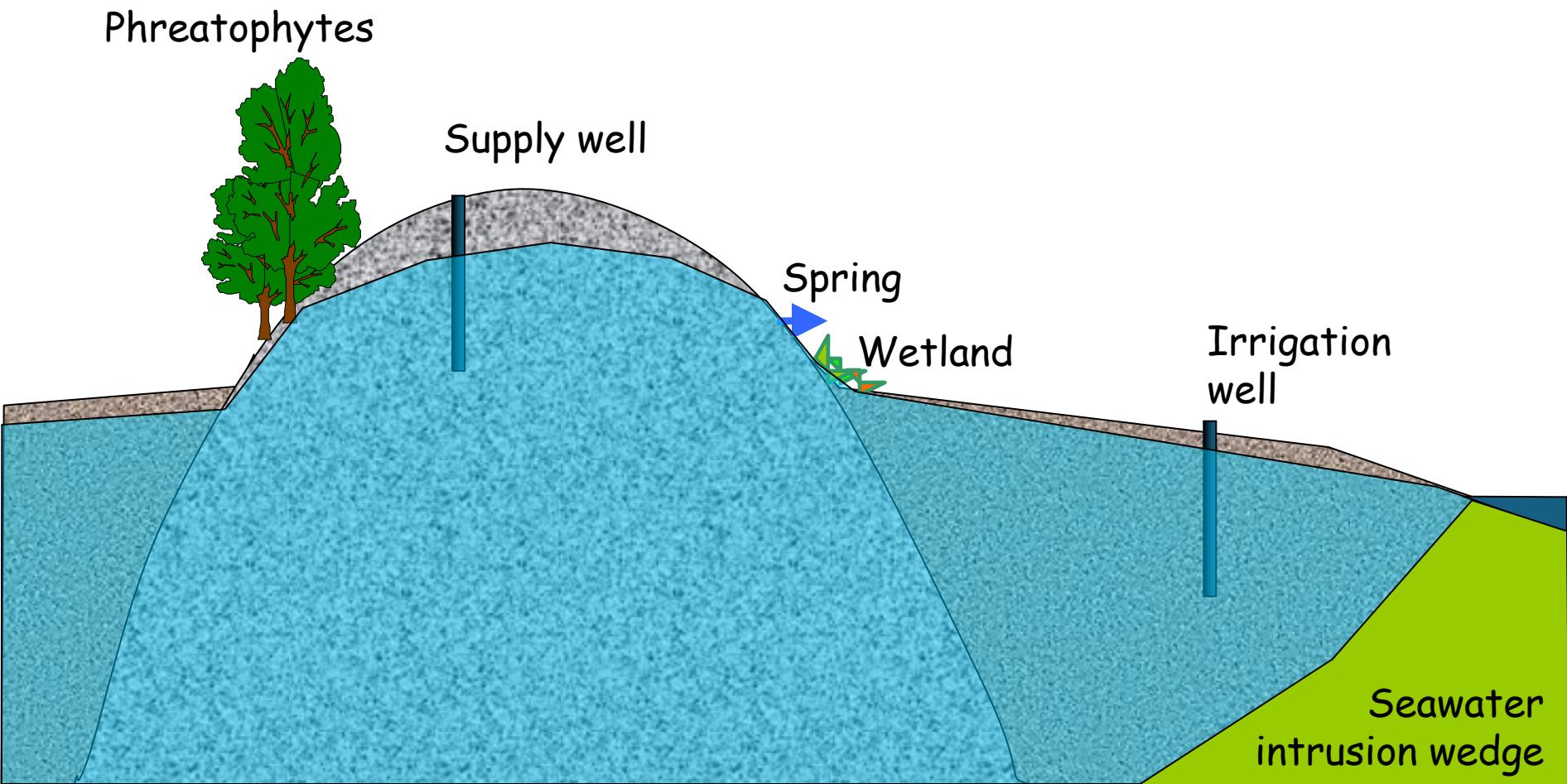
Causa principal: El movimiento se produce por un esfuerzo cortante insuficiente para generar una falla, pero suficiente para causar deformación en el terreno.

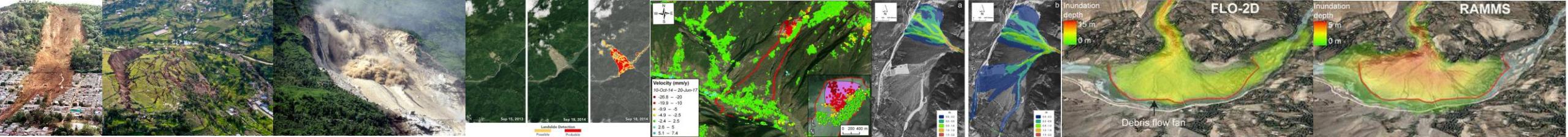


Figure 22. This photograph shows the effects of creep, in an area near East Sussex,

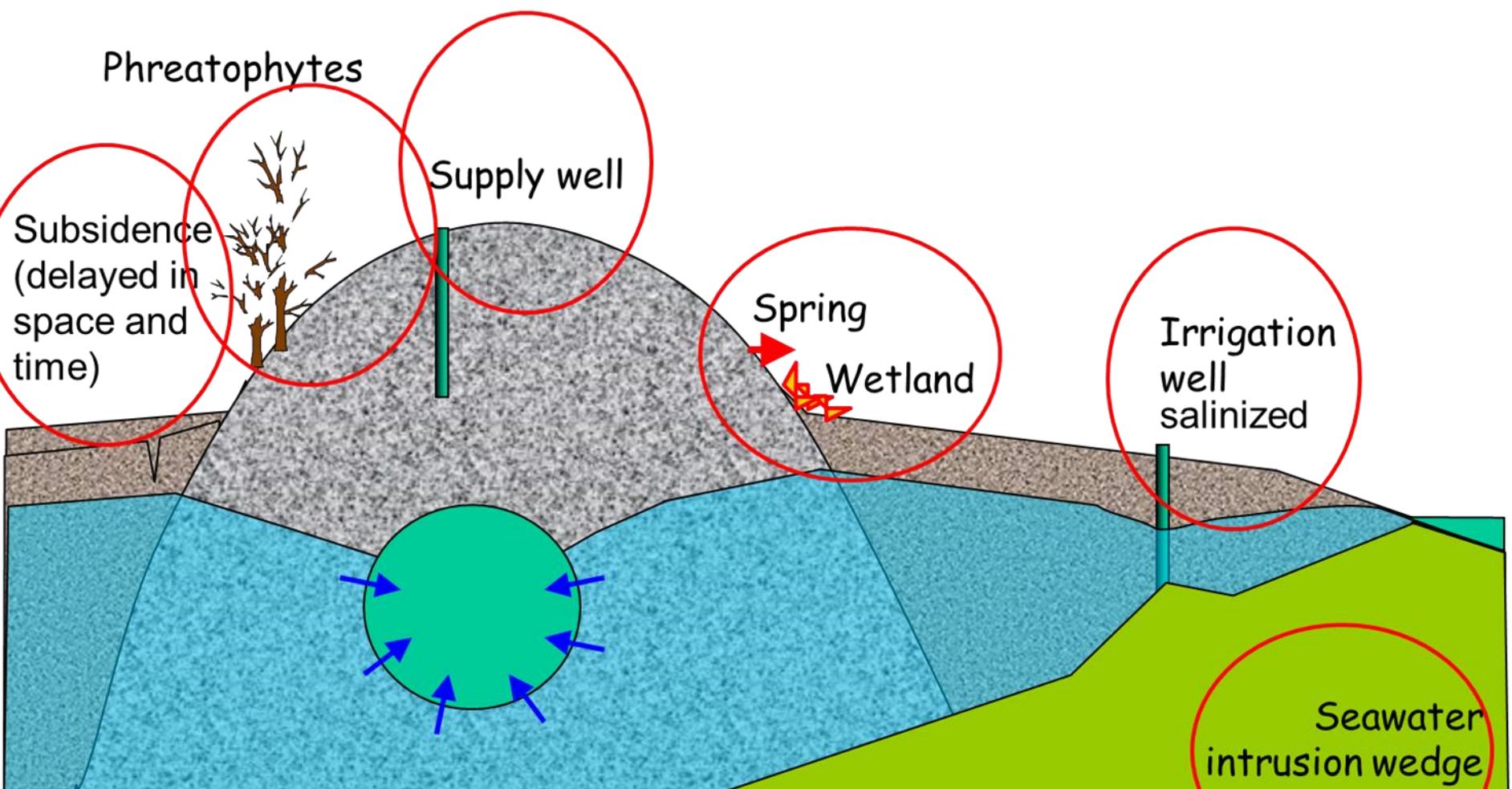


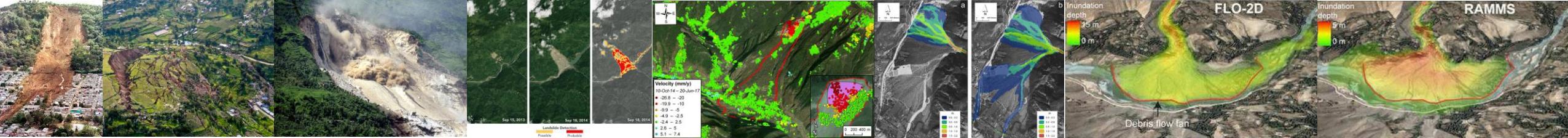
Landscape and the subsurface (as seen by hydrogeologists)





Landscape and the subsurface after long term very heavy extractions





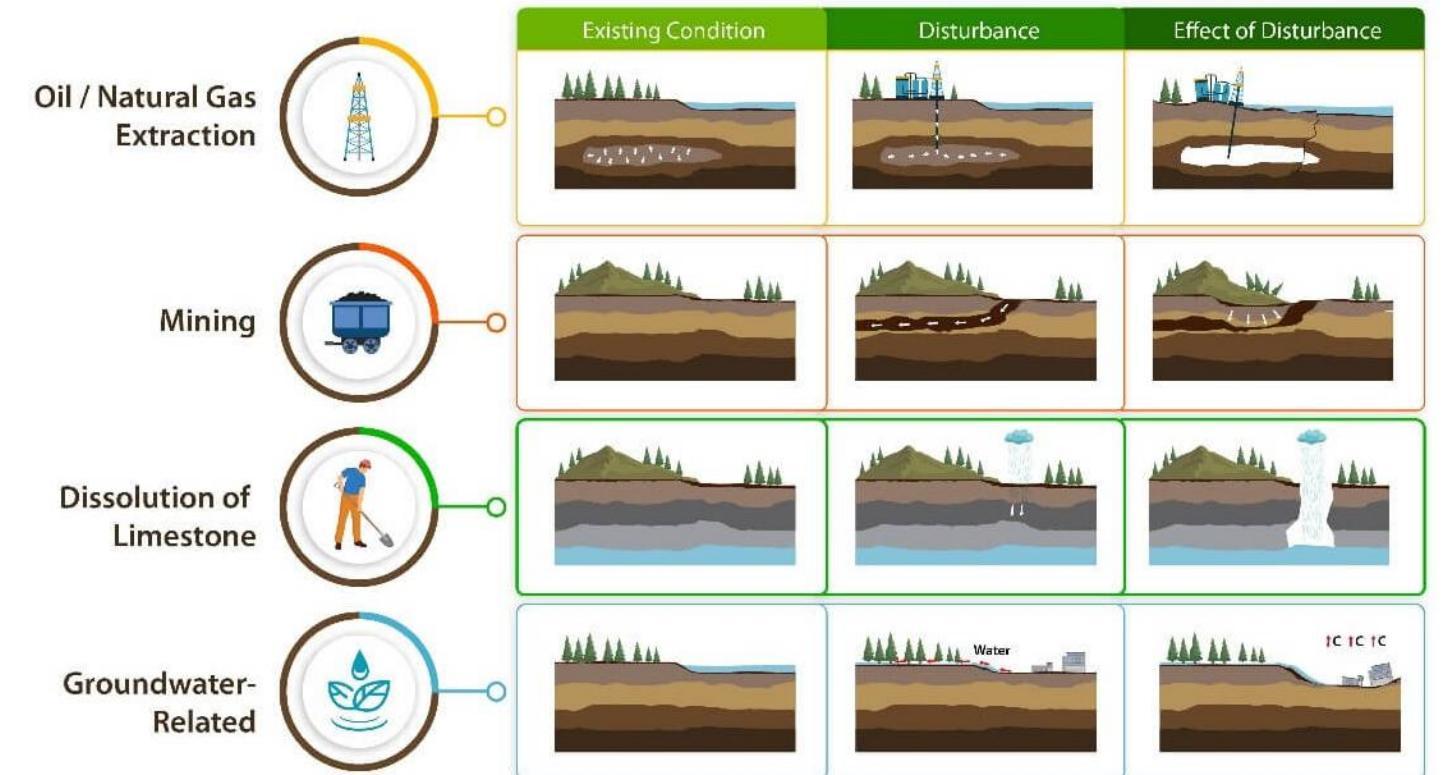
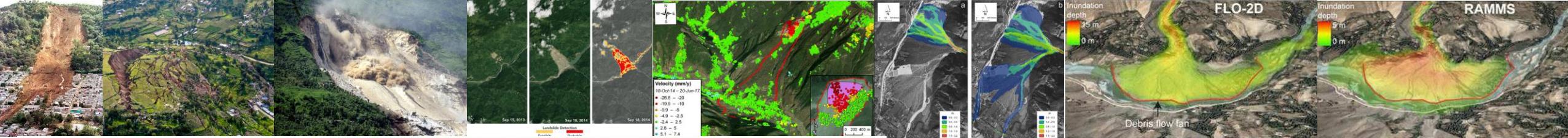
Typical subsidence pictures

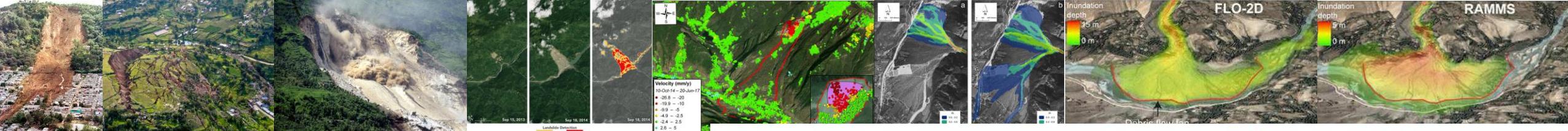


Edge of Tucson (Arizona) basin.
San Joaquin Valley (California)
9 m settlement between 1925 y 1977

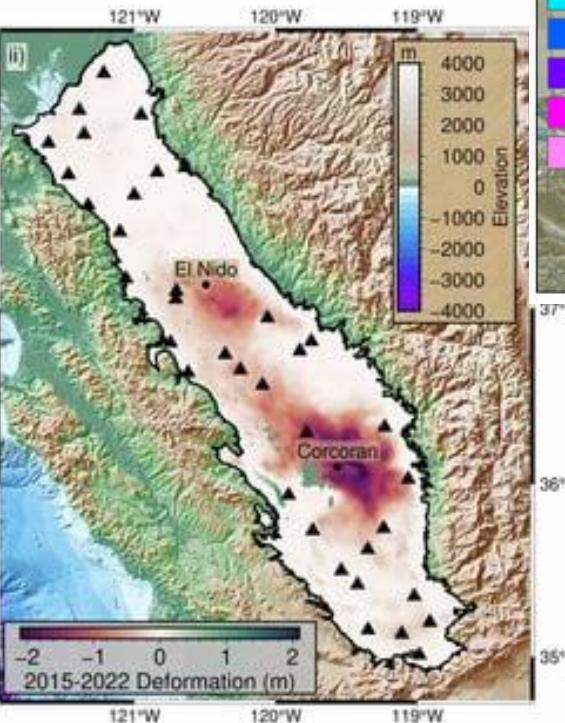
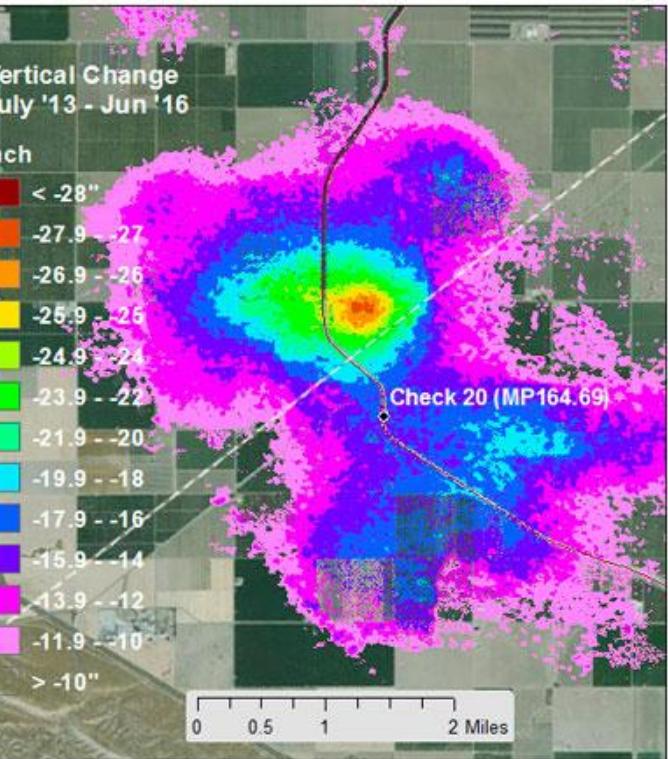
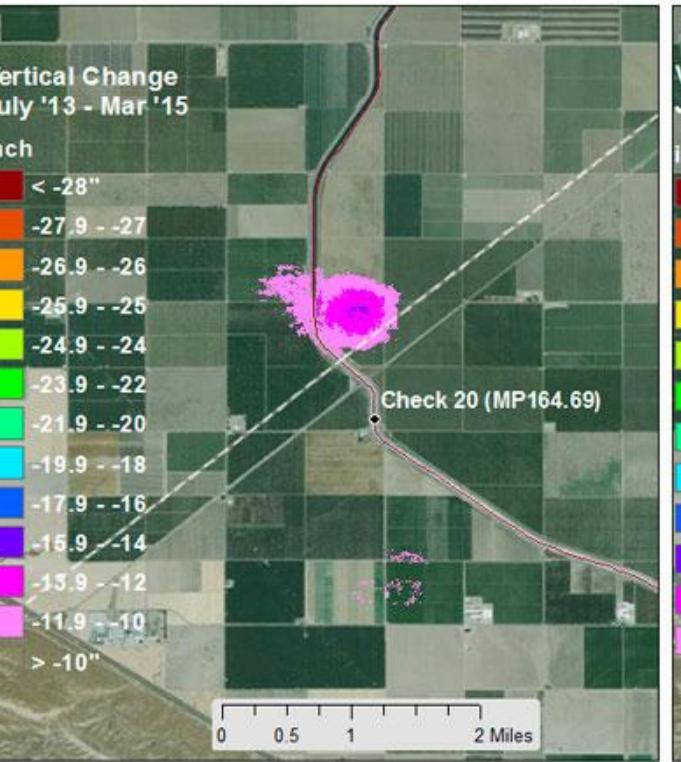
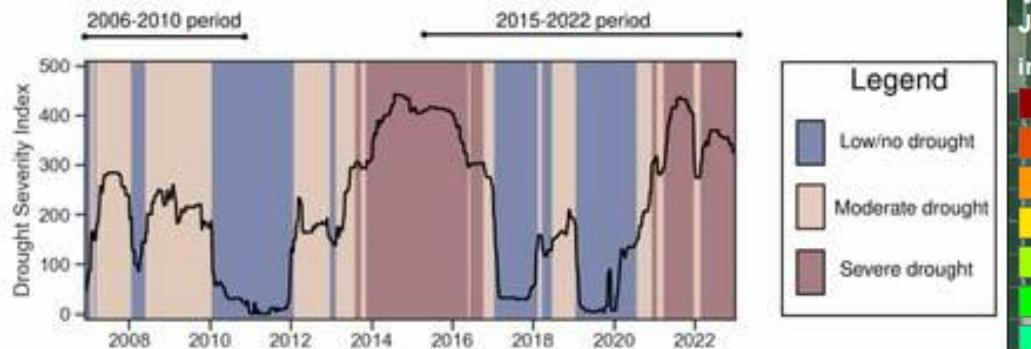
El Valle de San Joaquín tiene todos los ingredientes necesarios para el hundimiento: grandes cantidades de arcilla, agua subterránea a presión que sostiene la arcilla y grandes volúmenes de bombeo de agua subterránea que reduce drásticamente la capacidad de la arcilla para sostener el suelo sobre ella.

Un investigador se encuentra junto a un poste en el Valle de San Joaquín, al suroeste de Mendota, California. Los carteles muestran la altitud aproximada de la superficie terrestre en 1925, 1955 y 1977. La superficie terrestre disminuyó unos nueve metros entre 1925 y 1977 debido a la compactación del sistema acuífero. Dominio público/USGS

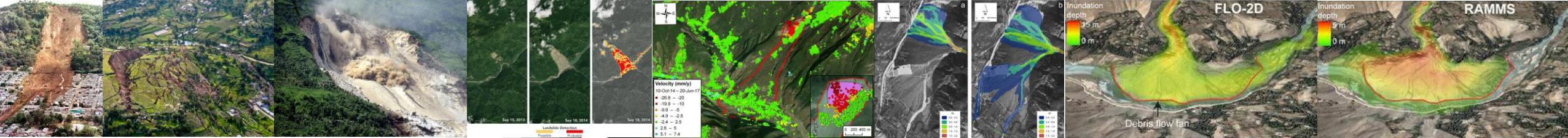




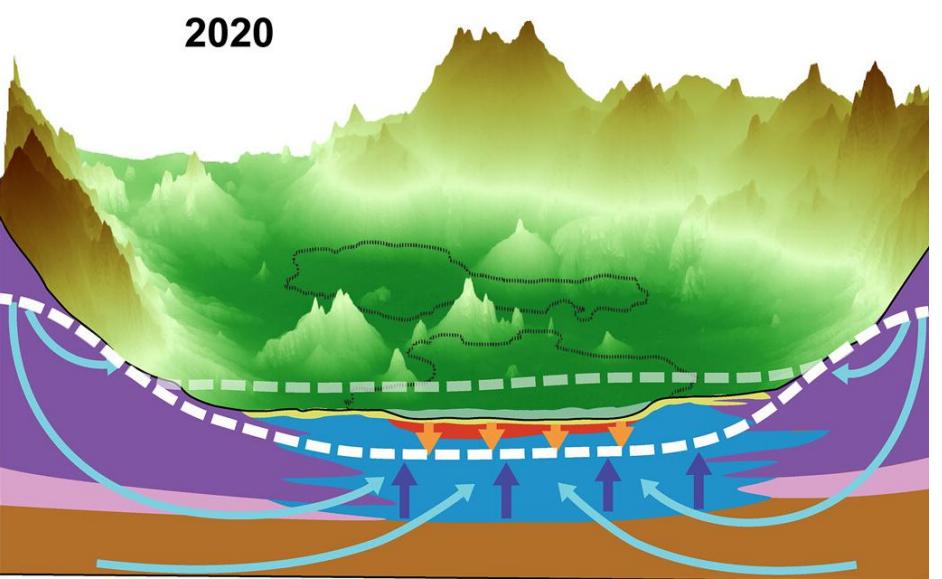
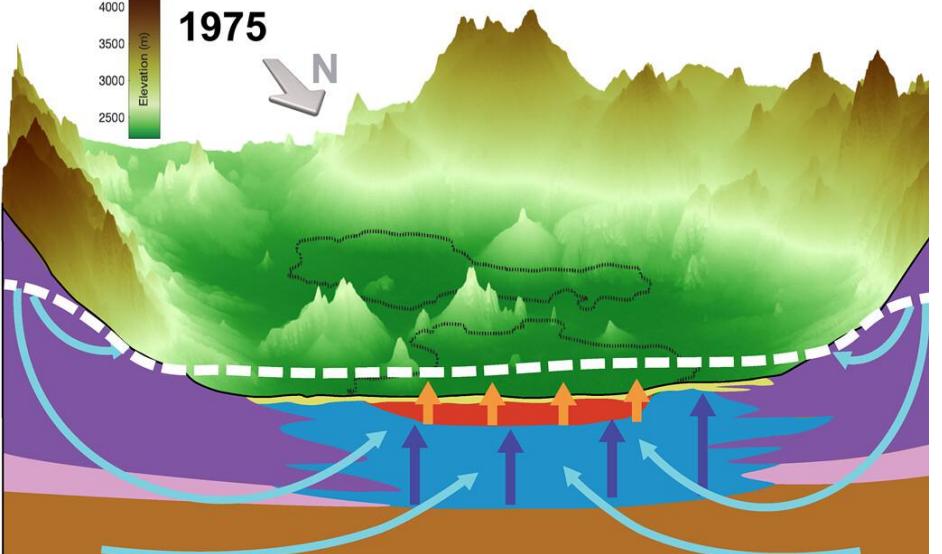
a) Periods with processed Valley-wide InSAR data



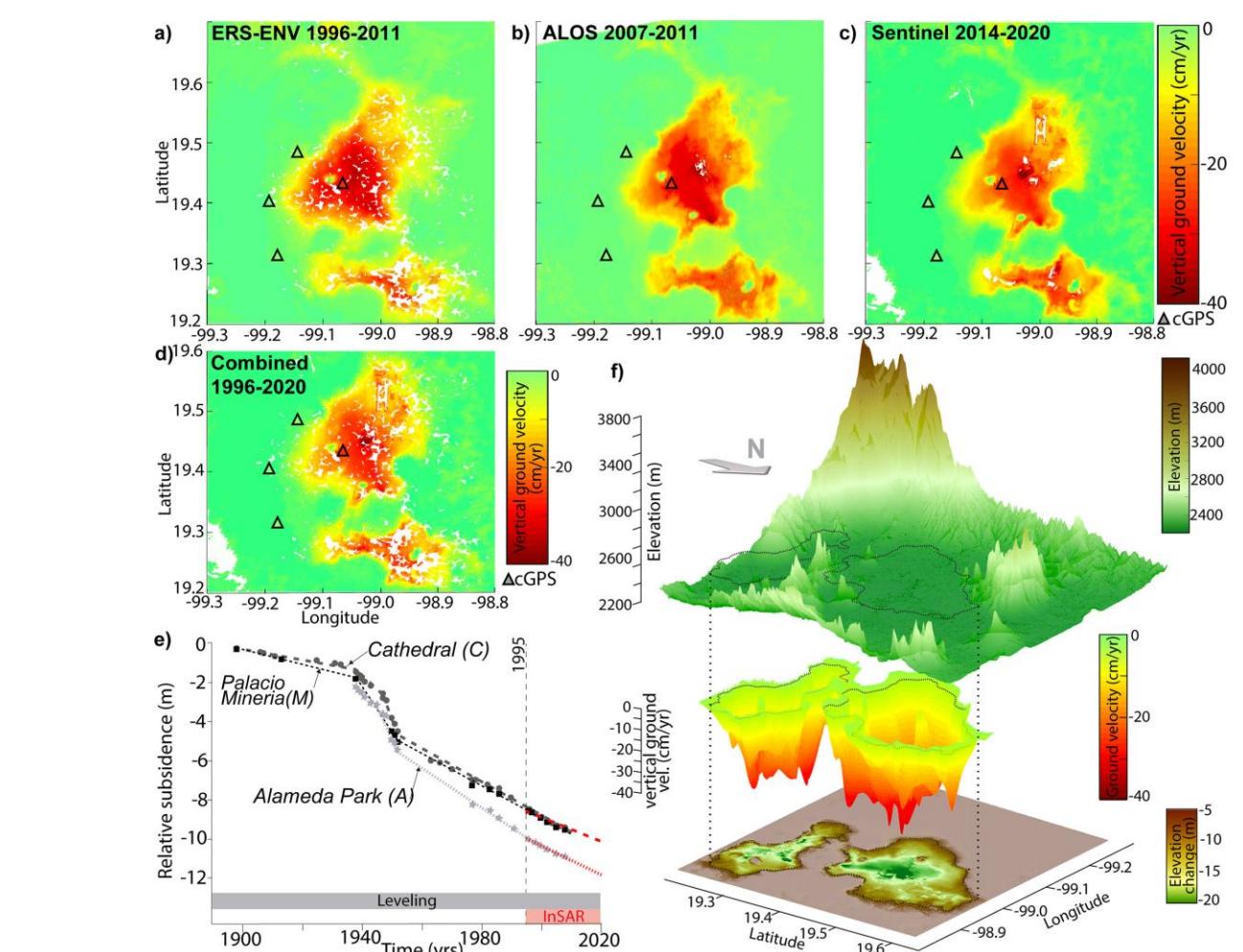
El exceso de bombeo de agua subterránea en miles de pozos en el Valle de San Joaquín ha provocado que algunas partes del valle se hundan hasta 8,5 metros. De hecho, un área cercana a la ciudad de Corcoran se hundió 33 centímetros en ocho meses y parte del acuífero, 20 centímetros en tan sólo cuatro durante 2015.



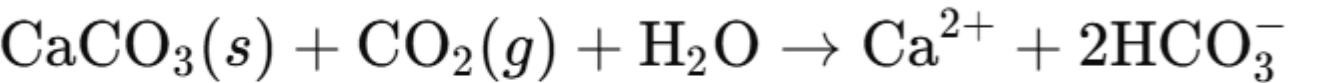
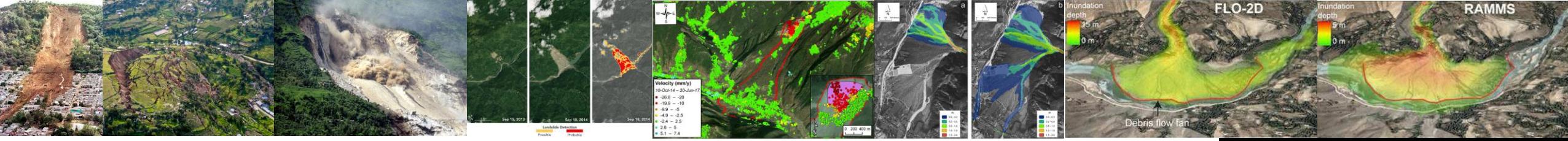
Basement
 Volcanics
 Volcanics
 Aquitard
 Aquifer
 Qal
 Potentiometric level
 Aquitard flow
 Aquifer flow



Inundation depth
 0 m
 5 m
 10 m
 15 m
 20 m
 25 m
 30 m
 35 m
 40 m
 45 m
 50 m
 55 m
 60 m
 65 m
 70 m
 75 m
 80 m
 85 m
 90 m
 95 m
 100 m
 105 m
 110 m
 115 m
 120 m
 125 m
 130 m
 135 m
 140 m
 145 m
 150 m
 155 m
 160 m
 165 m
 170 m
 175 m
 180 m
 185 m
 190 m
 195 m
 200 m
 205 m
 210 m
 215 m
 220 m
 225 m
 230 m
 235 m
 240 m
 245 m
 250 m
 255 m
 260 m
 265 m
 270 m
 275 m
 280 m
 285 m
 290 m
 295 m
 300 m
 305 m
 310 m
 315 m
 320 m
 325 m
 330 m
 335 m
 340 m
 345 m
 350 m
 355 m
 360 m
 365 m
 370 m
 375 m
 380 m
 385 m
 390 m
 395 m
 400 m



Chaussard, E., Havazli, E., Fattah, H., Cabral-Cano, E., & Solano-Rojas, D. (2021). Over a century of sinking in Mexico City: No hope for significant elevation and storage capacity recovery. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 126(4), e2020JB020648.

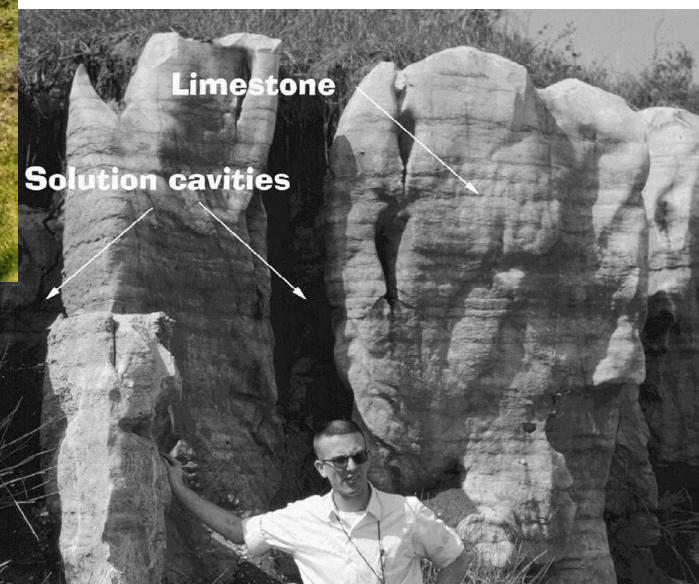
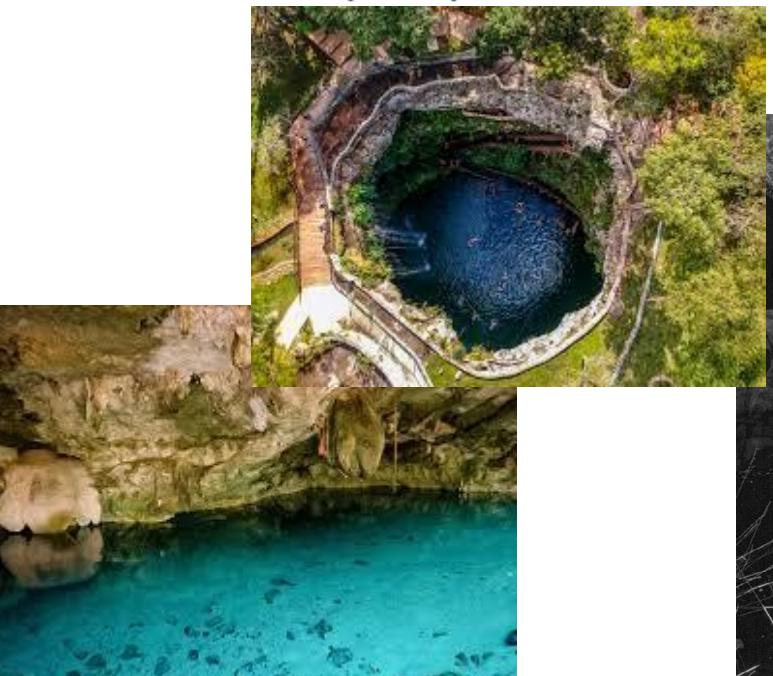
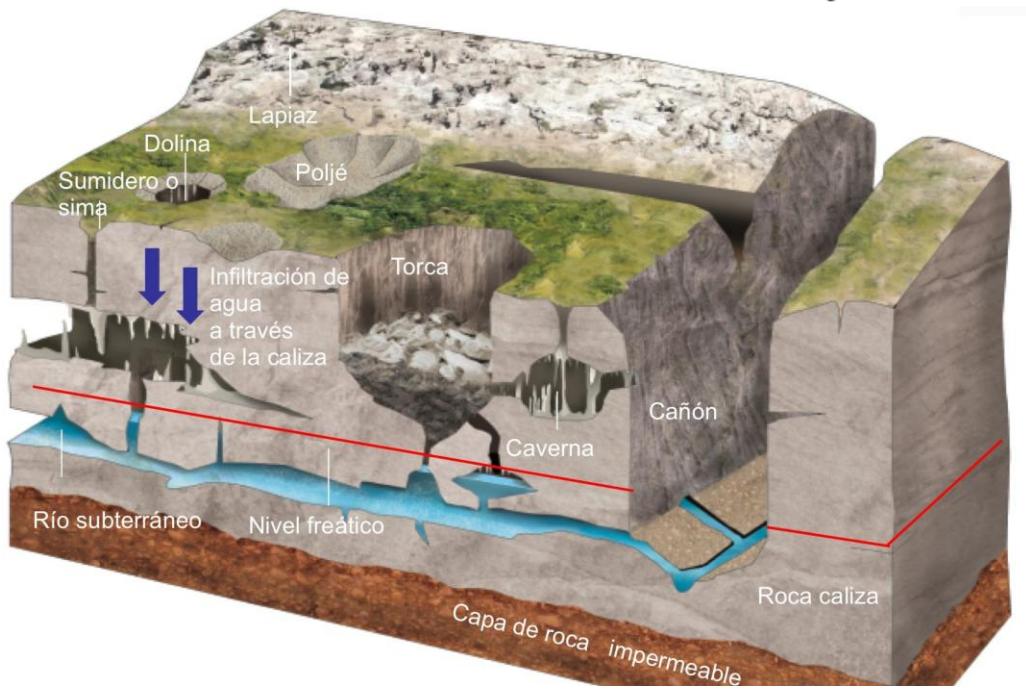


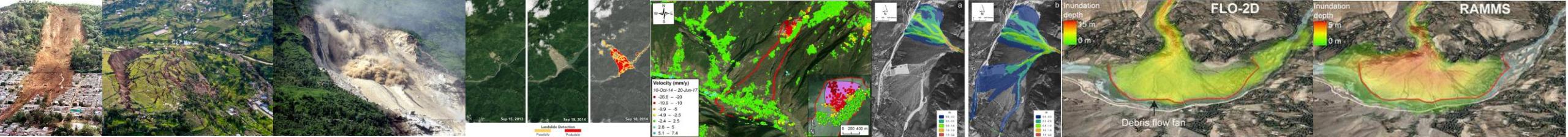
Caliza

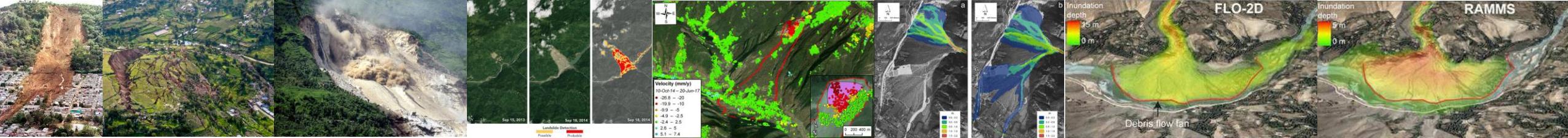


Esto significa:

- La caliza (CaCO_3) se **disuelve** en presencia de agua y CO_2 .
- Se forma **calcio disuelto (Ca^{2+})** y **bicarbonato (HCO_3^-)**, que quedan en el agua.





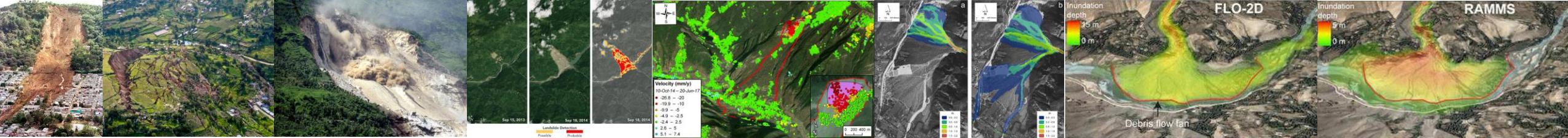


¿Qué efectos tienen los deslizamientos?

Los deslizamientos en muchas cadenas montañosas escarpadas son la fuente principal de erosión de sedimentos y el motor que impulsa los cambios en la morfología.



Acquired November 2012, this image shows a sediment plume along Spain's southwestern coast captured by the MODIS instrument.



- Los sedimentos transportados pueden influir en los procesos bioquímicos aguas abajo, tanto en tierra como en el mar.

Los **sedimentos transportados** por deslizamientos pueden:

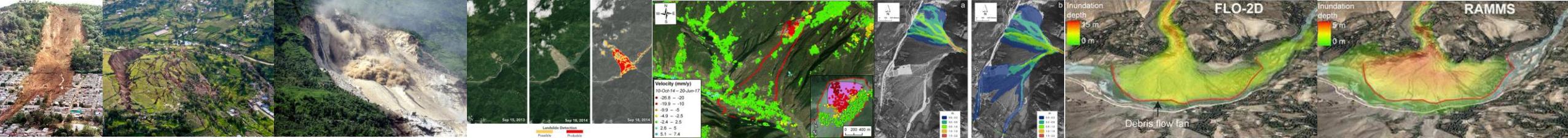
- Aportar nutrientes o contaminantes a ríos, lagos y zonas costeras.
- Alterar la **química del agua**, afectando ecosistemas acuáticos.
- Modificar procesos como la **productividad primaria** en ambientes marinos o estuarinos.

- Los deslizamientos también actúan como impulsores de la meteorización química.



Bacterial communities in water filtering through landslides in Taiwan.

Estos sedimentos pueden contener **nutrientes, materia orgánica, metales pesados u otros compuestos que, al ser liberados** en cuerpos de agua, influyen en la calidad del agua

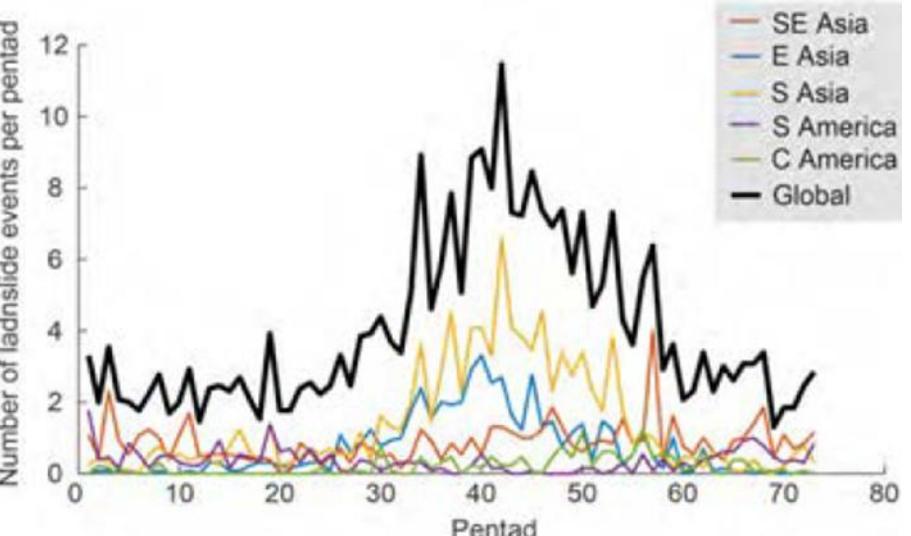


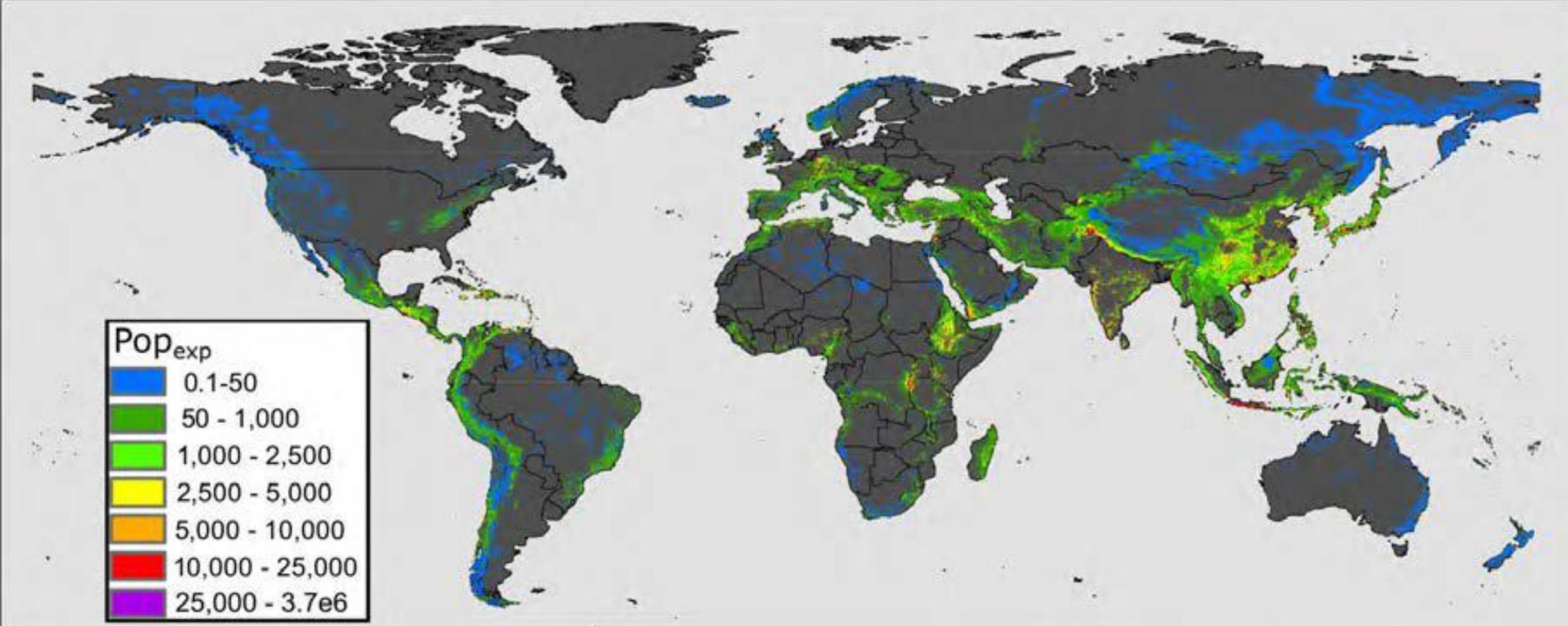
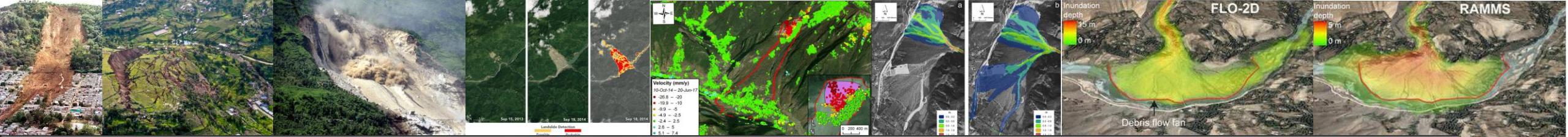
- Los deslizamientos causan miles de muertes cada año y daños valorados en miles de millones de dólares.
- La infraestructura lineal es particularmente vulnerable en regiones montañosas.
- Las comunidades ubicadas aguas abajo pueden enfrentar riesgos elevados de flujos de escombros durante muchos años después de un terremoto.
- El desarrollo periurbano es especialmente vulnerable.

Este gráfico muestra el número de eventos de deslizamientos de tierra (landslides) por "pentad" (unidad de cinco días) a lo largo del año, diferenciados por regiones (Sudeste Asiático, Este Asiático, Sur de Asia, Sudamérica, Centroamérica) y un total global.



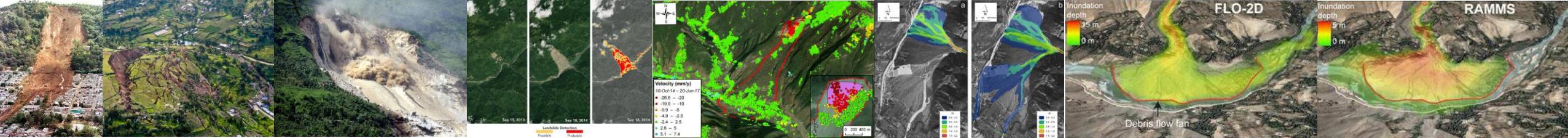
Credit: [Agência Brasil](#). License: CC BY-SA 3.0





La exposición de la población al peligro por deslizamientos está ampliamente distribuida.

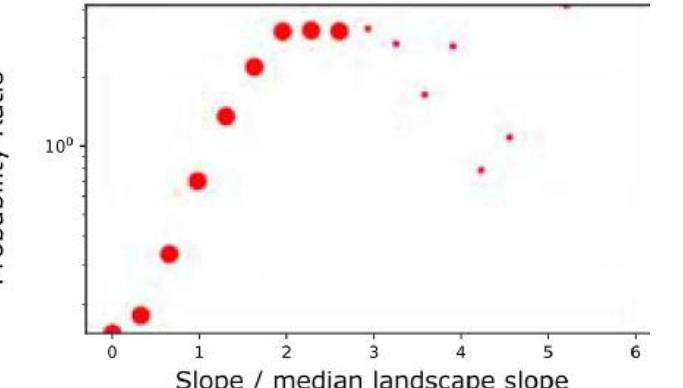
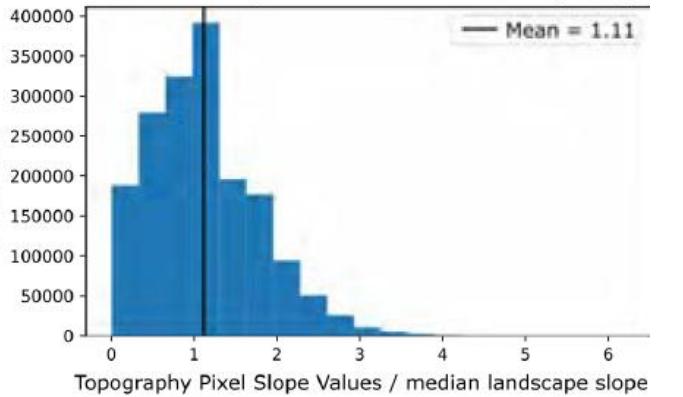
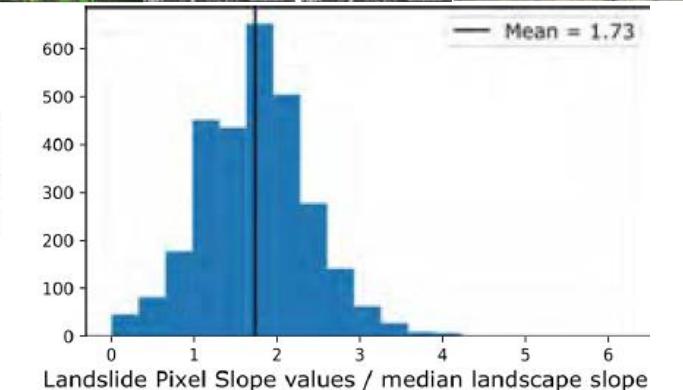
- Infraestructuras críticas como carreteras, puentes, líneas férreas y redes eléctricas también están expuestas.
- El crecimiento urbano desordenado, especialmente en zonas periurbanas, incrementa la vulnerabilidad.



¿Qué factores influyen en la ocurrencia de deslizamientos?

- Muchos factores pueden influir en la probabilidad de que ocurra un deslizamiento en un lugar determinado.
- La **topografía** es típicamente uno de los elementos más importantes: las pendientes más empinadas tienen mayor probabilidad de fallar por acción de la gravedad.
- También influyen otros factores como el **relieve**, la **orientación de la pendiente (aspecto)**, la **rugosidad del terreno** y la **posición en el paisaje** (por ejemplo, si está en la base o en la cima de una ladera)

Slope values
for landslides
in Zimbabwe,
2019



- Representa la distribución de las pendientes en los píxeles donde ocurrieron deslizamientos, normalizadas por la pendiente mediana del paisaje.

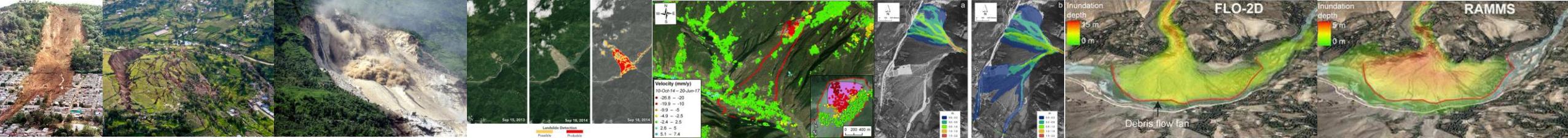
- El valor medio (línea negra) es 1.73, lo que indica que los deslizamientos tienden a ocurrir en pendientes más empinadas que el promedio del terreno.
- La mayoría de los deslizamientos se concentran entre 1 y 3 veces la pendiente mediana.

- Muestra la distribución de todas las pendientes del paisaje, no solo donde ocurrieron deslizamientos.

- El valor medio es 1.11, más bajo que el de los píxeles con deslizamientos, indicando que la mayoría del terreno tiene pendientes menores.

- Esto resalta que los deslizamientos no ocurren al azar, sino en sectores con mayor inclinación.

- La probabilidad de ocurrencia de deslizamientos aumenta con la pendiente, pero no de manera infinita. Hay un rango de pendientes (1.5-3 veces la pendiente mediana del paisaje) donde el riesgo es significativamente mayor. Este análisis confirma que la pendiente es un factor crítico en la susceptibilidad a deslizamientos.

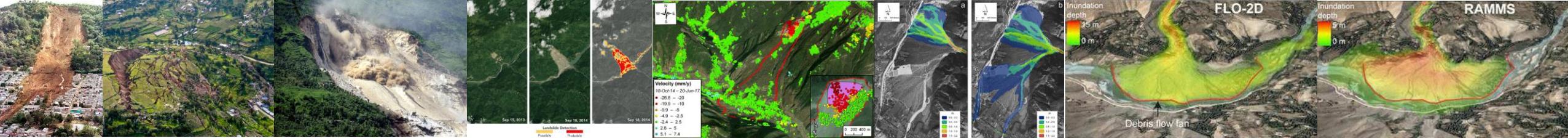


- El tipo de material sometido a estrés gravitacional también influye en el potencial de deslizamientos de tierra.
- Las litologías de roca dura como el granito pueden reducir la probabilidad de deslizamientos, debido a la presencia limitada de planos de falla.
- Los estratos de roca dispuestos horizontalmente -como en el Gran Cañón- también pueden permitir que pendientes más empinadas sean estables, lo que limita la influencia de la topografía.



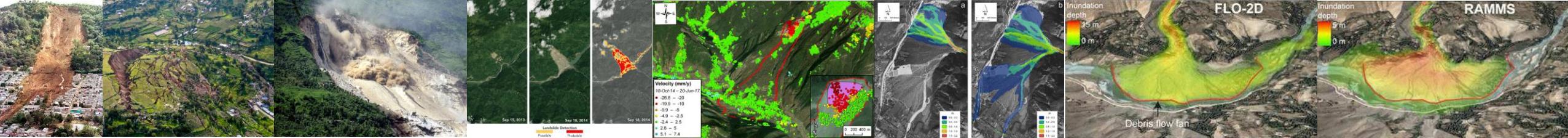
Credit: [David Iliff](#). License: CC BY-SA 3.0





- El **tipo de uso del suelo** y, en particular, el **tipo** y la **densidad** de la vegetación influyen fuertemente en la propensión a los deslizamientos de tierra.
- Las plantas pueden unir fuertemente el material superficial y estabilizar las laderas. Las plantas pueden influir significativamente en la tasa de infiltración de agua, reduciendo la saturación.
- Por el contrario, el viento extremo puede derribar árboles y movilizar sedimentos.





- Muchos deslizamientos de tierra ocurren de forma catastrófica, con flujos de detritos que alcanzan velocidades de 55 a 80 km/h.
- Algunos deslizamientos pueden moverse muy lentamente, a tasas de milímetros o centímetros por año.
- La deformación de movimiento lento se observa típicamente en regiones cubiertas por grandes mantos de sedimentos y puede afectar la infraestructura.
- Estos deslizamientos de movimiento lento pueden transformarse en eventos catastróficos de rápido desplazamiento.



