

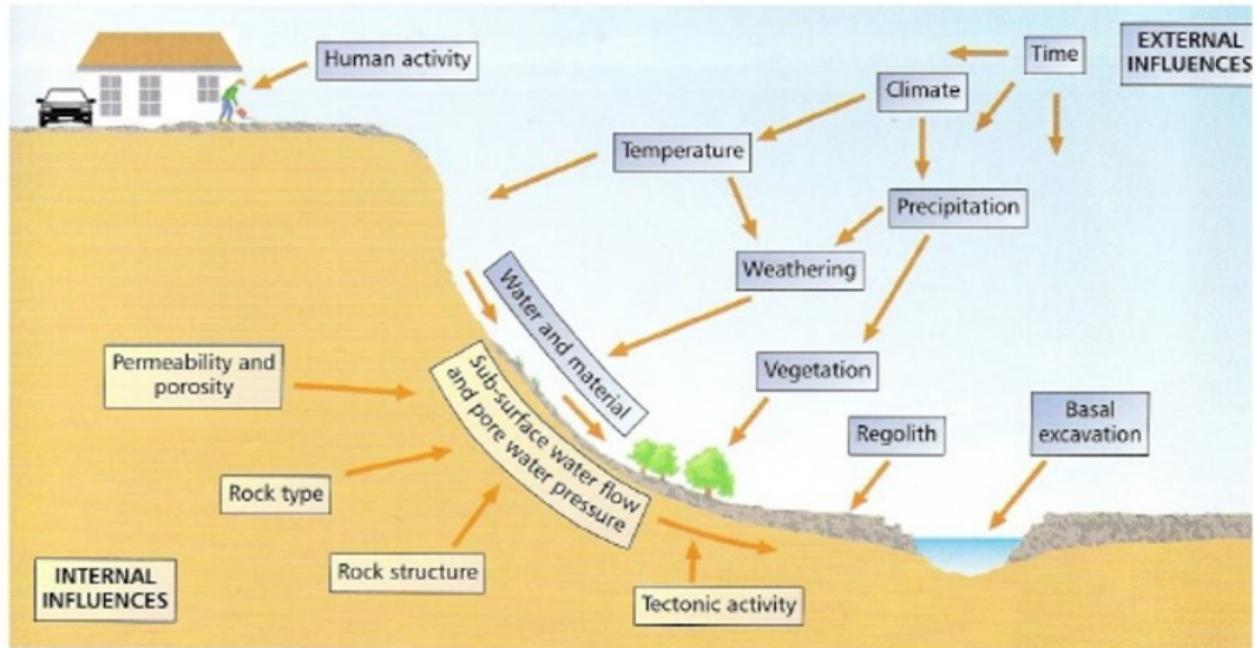
GEOMORFOLOGÍA

Edier V. Aristizábal G.

evaristizabal@unal.edu.co

Versión: June 29, 2020



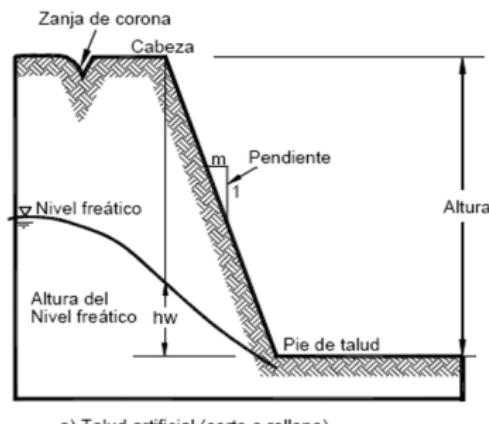


Ladera (*hillslope*)

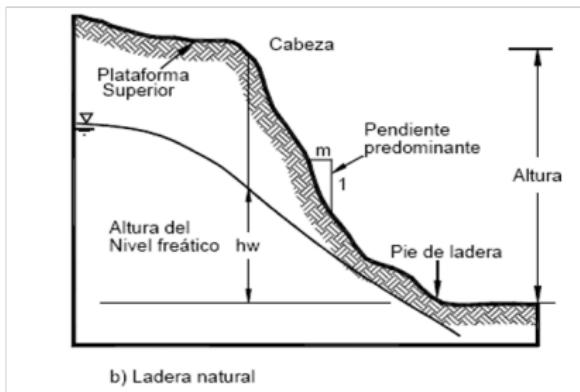
Elemento básico de todo paisaje, gran variedad de tamaños y formas, resultado de los procesos de laderas.

Definición: Unidad de geoforma inclinada con un ángulo de pendiente mayor que un umbral mínimo que lo delimita de llanuras y menor a un umbral máximo que lo delimita de superficies verticales, y que es limitado por una unidad de geoforma en la parte superior e inferior (Denh et al., 2001).

Propiedades fundamentales para su definición: (i) geometría local, (ii) relación con las geoformas externas, (iii) escala, (iv) proceso asociados.

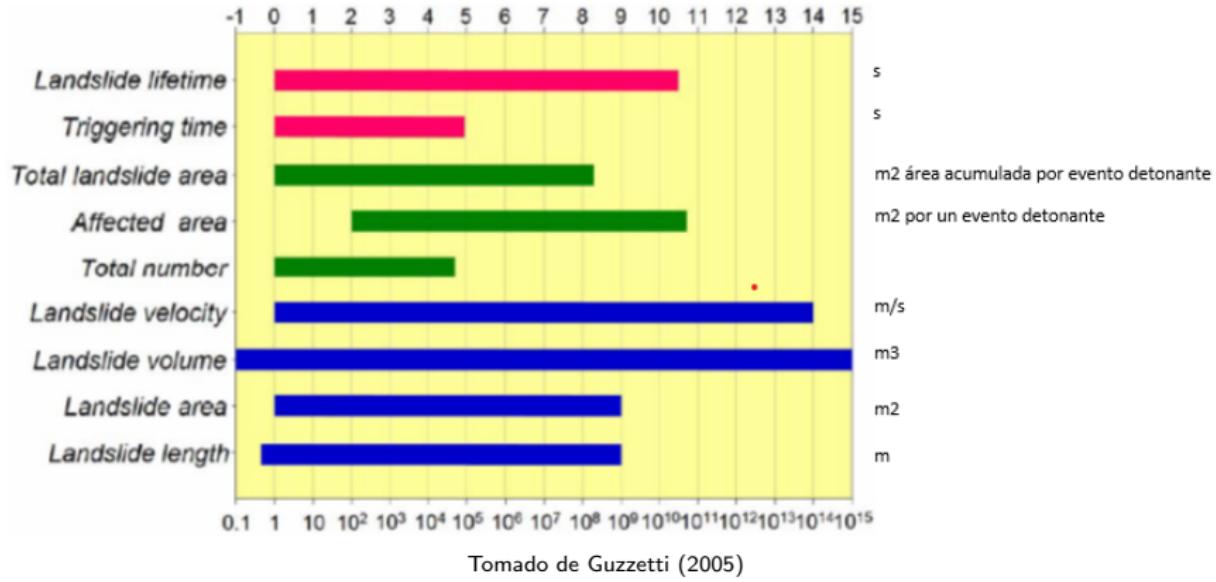


a) Talud artificial (corte o relleno)



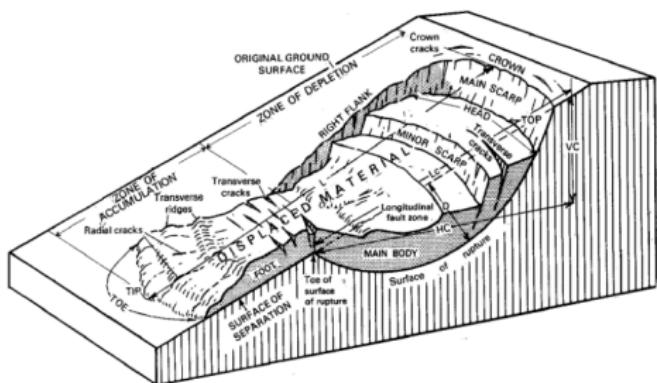
b) Ladera natural

Rango de MenM



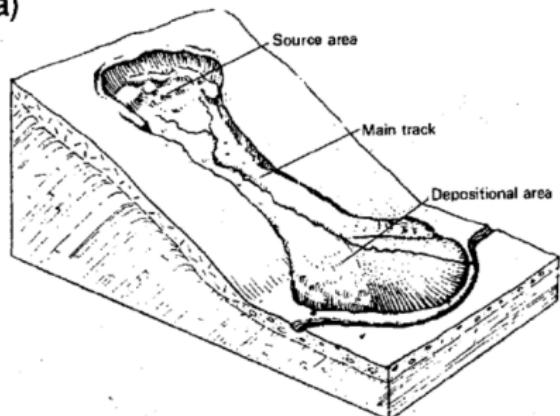
Formas y Partes

Deslizamiento



Flujo

(a)



Fuente: GEMMA (2007) y Cruden & Varnes (1996)

Términos utilizados para MenM

Términos comunes:

Derrumbes,
Volcanes.

Términos mal utilizados:

Avalanchas,
Falla geológica,
Reptación,
Deslizamientos (para todo tipo de eventos).

Términos técnicos:

Deslizamientos,
Movimientos en masa,
Movimientos de ladera,
Remoción en masa.

Tomado de GEMMA (2007) y Cruden & Varnes (1996)

Reología de MenM

Mass transport processes		Mechanical behavior	Transport mechanism and sediment support	
Rock fall		Elastic	Free fall and subordinate rolling of individual blocks or clasts along steep slopes	
Slide	Glide		Shear failure among discrete shear planes with little internal deformation or rotation	
	Slump		Shear failure accompanied by rotation along discrete shear surfaces with little internal deformation	
Sediment gravity flow	Mass flow	Debris flow	Plastic limit	Shear distributed throughout sediment mass; strength principally from cohesion due to clay content; additional matrix support possibly from buoyancy
		Mud flow		
		Grain flows		
		Inertial	Liquid limit	Cohesionless sediment supported by dispersive pressure; flow in inertial (high-concentration) or viscous (low-concentration) regime; steep slopes usually required
		Viscous		
	Fluidal flow	Liquefied flow	Viscous fluid	Cohesionless sediment supported by upward displacement of fluid (dilatance) as loosely packed structure collapses, settling into a more tightly packed framework; slopes in excess of 3° required
		Fluidized flow		
		Turbidity current		
				Supported by fluid turbulence

Tomado de Boggs(2001)



Definiciones

Consideraciones mas complejas...

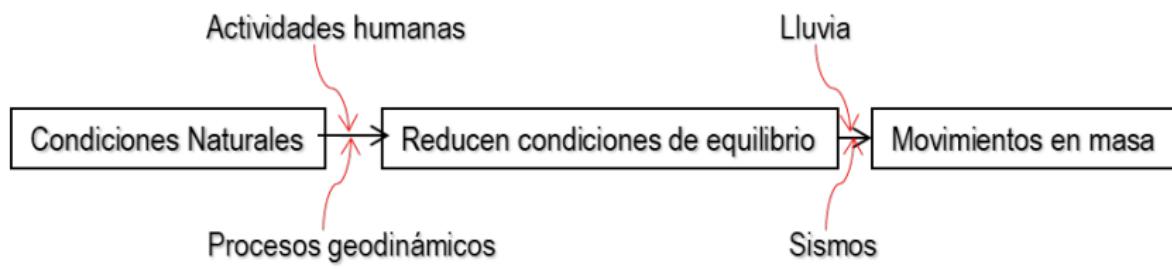
Sheidegger utiliza la teoría del caos para explicar la ocurrencia, frecuencia y tamaño de los movimientos en masa. Sistemas complejos abiertos no lineales desarrollan estados quasi-estacionarios en el límite del caos. Los movimientos en masa son el resultado de cambios repentinos en el comportamiento a largo plazo generados por pequeñas modificaciones en las condiciones iniciales. Asumiendo la adición de masa endogénica constante, el número de movimientos en masa en cualquier intervalo de tiempo es una función del tamaño, la cual debe seguir una función de distribución: la frecuencia promedio de una cierta magnitud es inversamente proporcional a cierta relación de su tamaño.

Definición: Modificaciones del terreno dentro del ciclo geomorfológico continuo, y que corresponden a la respuesta normal del sistema debido a complejos parámetros exogénicos (meteóricos) y endogénicos (tectónicos). Sheidegger (1998)

Definiciones

Consideraciones mas complejas...

Los procesos de movimiento en masa son el resultado de las condiciones naturales del terreno, tales como geomorfología, hidrología y geología, y las modificaciones de estas condiciones por procesos geodinámicos, vegetación, usos del suelo y actividades humanas. Dichas modificaciones activan movimientos lentos, generalmente imperceptibles debido a que las propiedades mecánicas del material o condiciones de equilibrio decrecen gradualmente, y posteriormente, factores como precipitación, sismicidad o cortes de origen antrópico detonan dichos movimientos lentos en rápidos movimientos en masa (Soeters & van Westen, 1996).

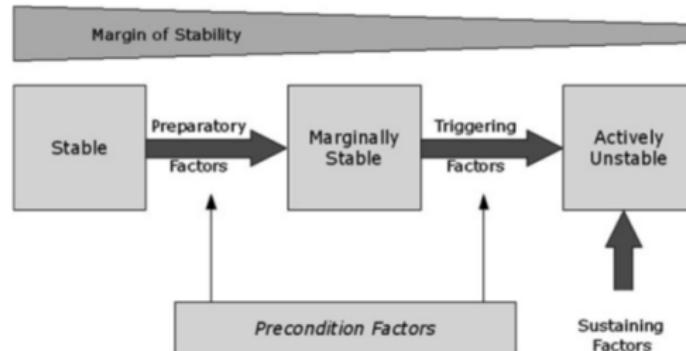


Variables Condicionantes & Detonantes

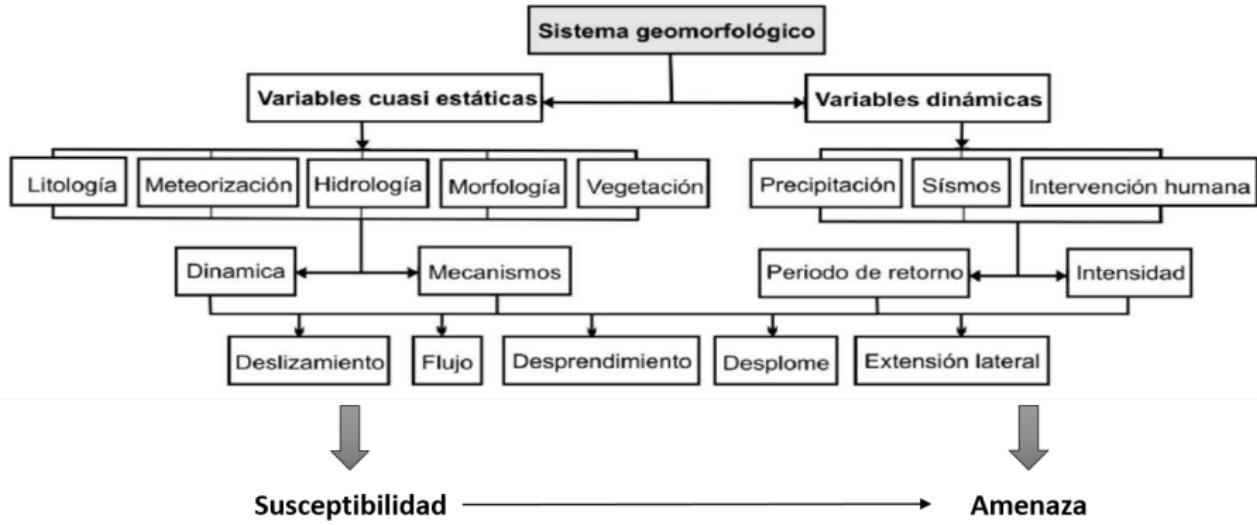
Variables condicionantes (preparatorias, quasi-estáticas): las cuales hacen la ladera susceptible a fallar sin siquiera iniciarse y sin embargo tienden a ubicar la ladera en un estado estable marginal: geología, pendiente, aspecto, elevación, propiedades geotécnicas del suelo, vegetación, y patrones de drenaje de largo plazo y meteorización.

Variables detonantes (dinámicas): las cuales cambian la ladera de una estabilidad marginal a un estado inestable y por lo tanto iniciando una falla en un área de determinada susceptibilidad, tales como lluvias intensas, sismos, deshielo, intervención antrópica.

Fuente: Dai et al, (2002)



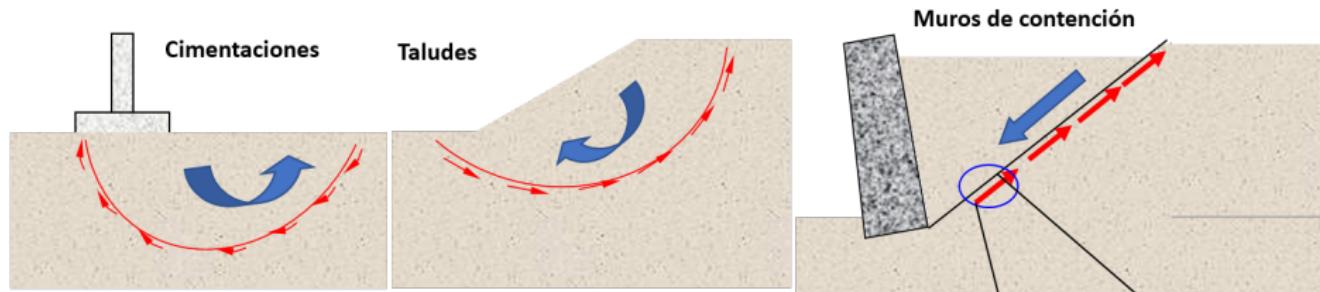
Variables Condicionantes & Detonantes



Modificado de Brunsden (2002)

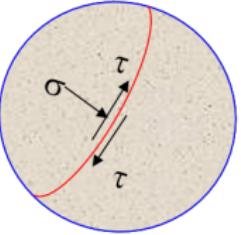
Fuerzas que actuan sobre la ladera

Las laderas generalmente fallan por cizalla:



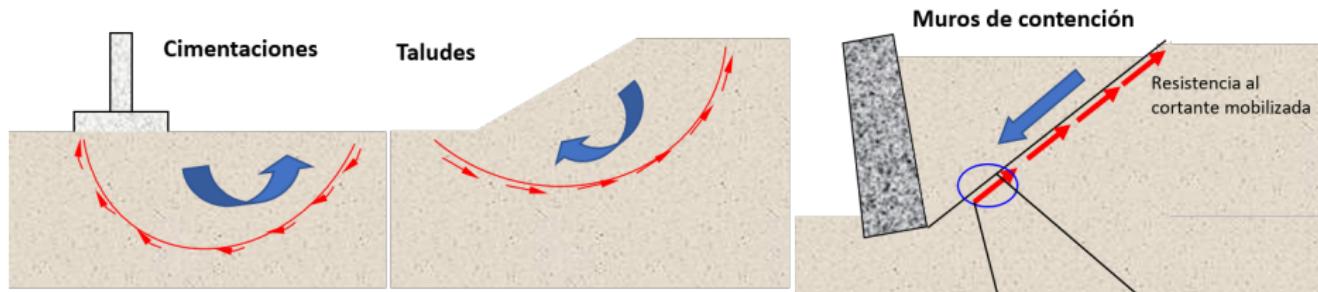
Frágil → catastrófica → Ruptura por deslizamiento

Dúctil → acumulación de grandes deformaciones → Ruptura por plastificación



Fuerzas que actuan sobre la ladera

Las laderas generalmente fallan por cizalla:



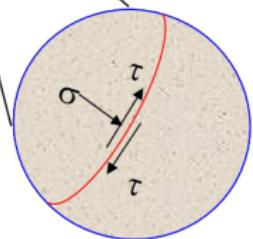
Coulomb (1776) → resistencia al corte de los materiales

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

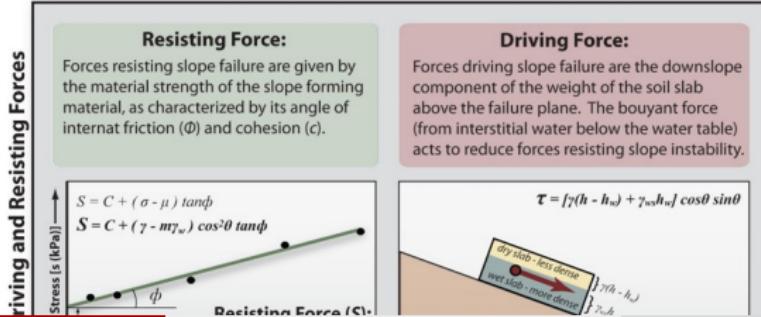
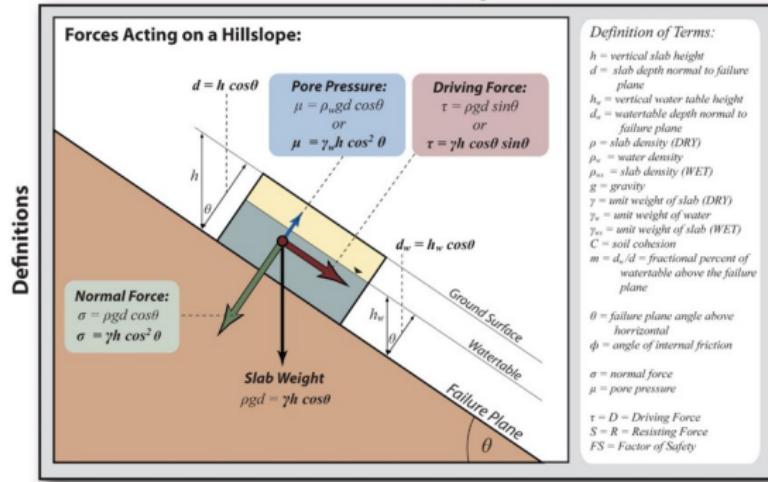
σ = Esfuerzo normal total en el plano de falla

ϕ = Ángulo de fricción del suelo

c = Cohesión del suelo



Fuerzas que actuan sobre la ladera

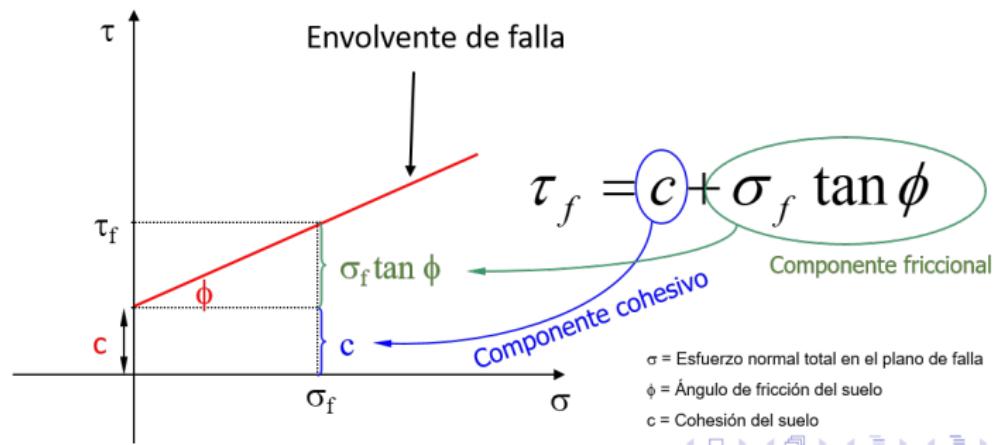


Ecuación de Coulomb

Coulomb (1776) → resistencia al corte en terminos de esfuerzos totales.

Cohesión (c): Se debe a fuerzas internas que mantienen unidas las partículas en una masa (**Suelos arcillosos**). Resistencia del suelo a esfuerzos de tracción. Resistencia al corte bajo esfuerzos normales nulos.

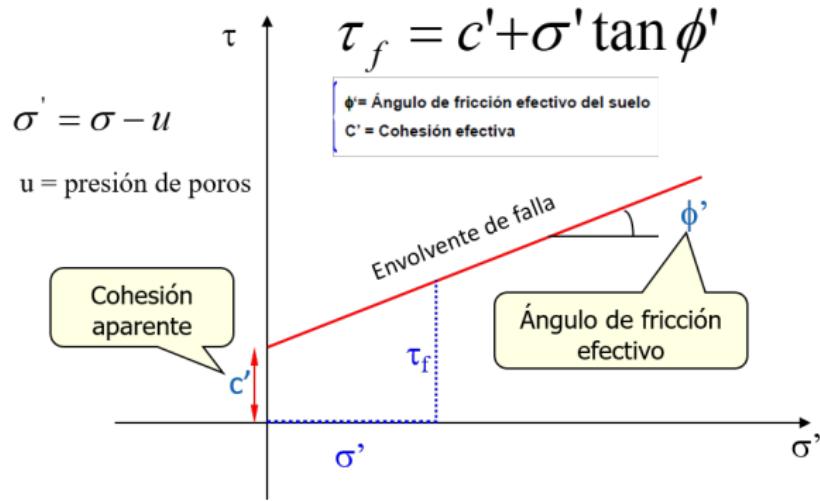
Fricción ($\tan \phi$): Que se debe a la trabazón entre partículas y al roce entre ellas cuando están sometidas a cargas (**Suelos granulares**)



Principio de esfuerzos efectivos

Terzagui (1936) → resistencia al corte en terminos de esfuerzos efectivos.

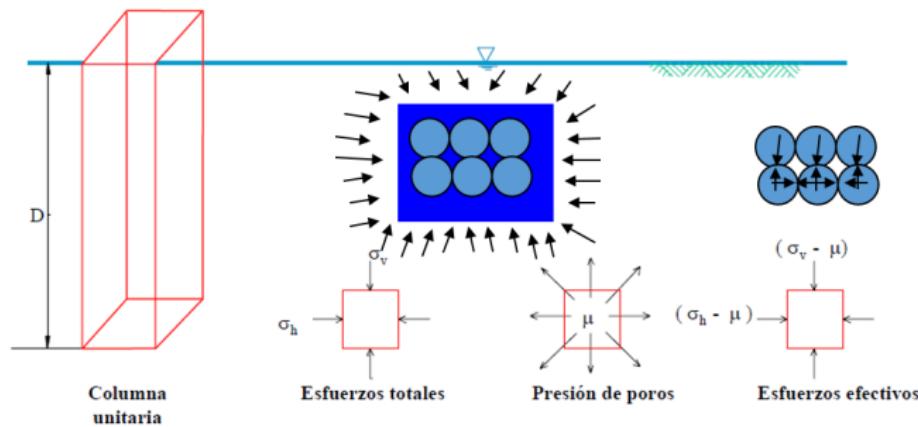
La resistencia al corte de un suelo depende de la magnitud de los esfuerzos efectivos que soporta el esqueleto del suelo.



Principio de esfuerzos efectivos

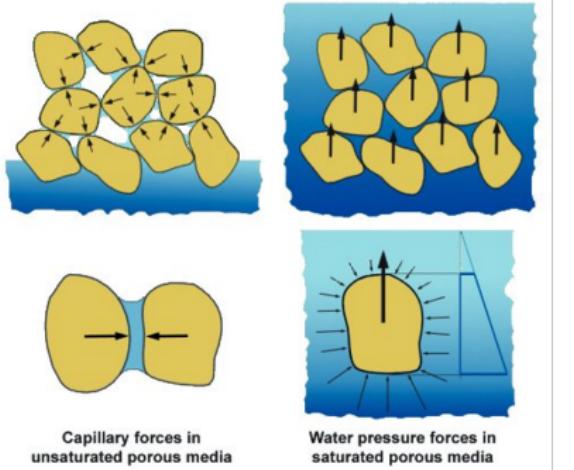
El esfuerzo total transmitido a un suelo se divide en dos partes:

- Dentro del esqueleto del suelo que resultan de las fuerzas que actúan sobre los puntos de contacto entre partículas individuales – **Esfuerzos efectivos**
- Dentro del fluido intersticial que ocupa los poros – **Presiones de poros**

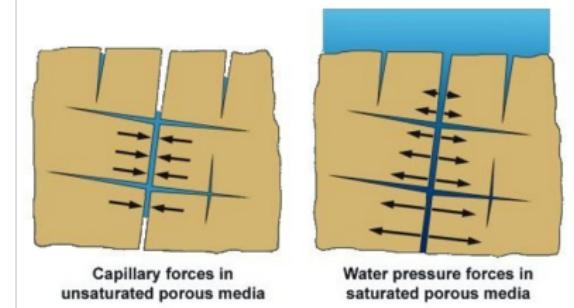


Efectos del agua

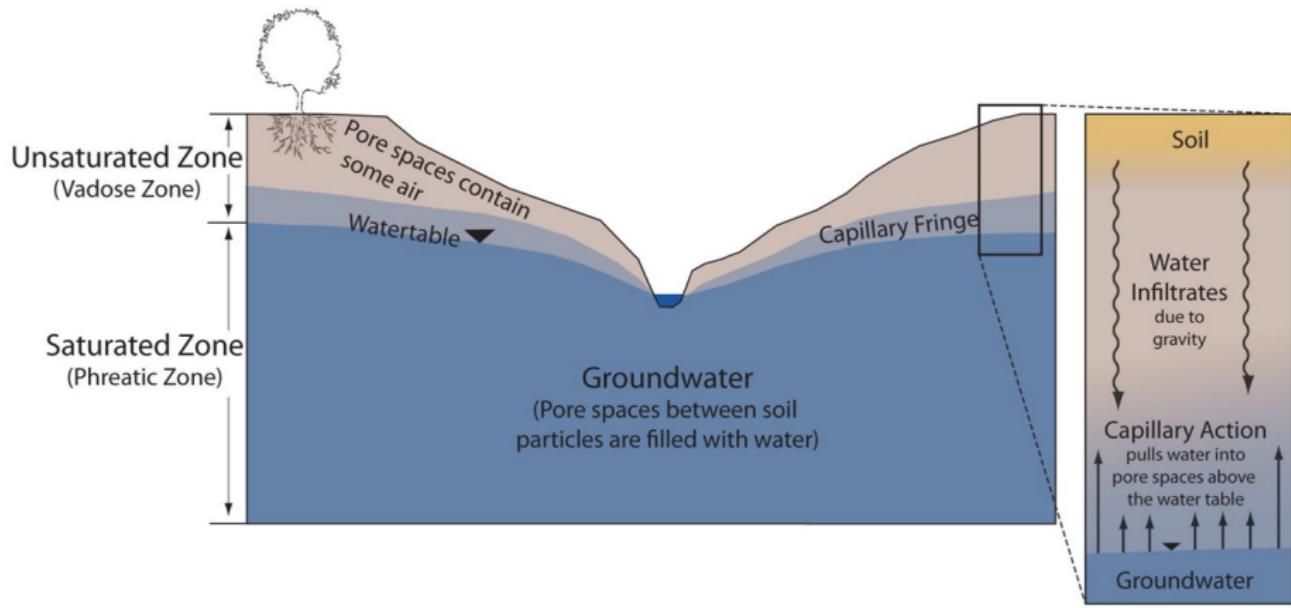
Medio poroso



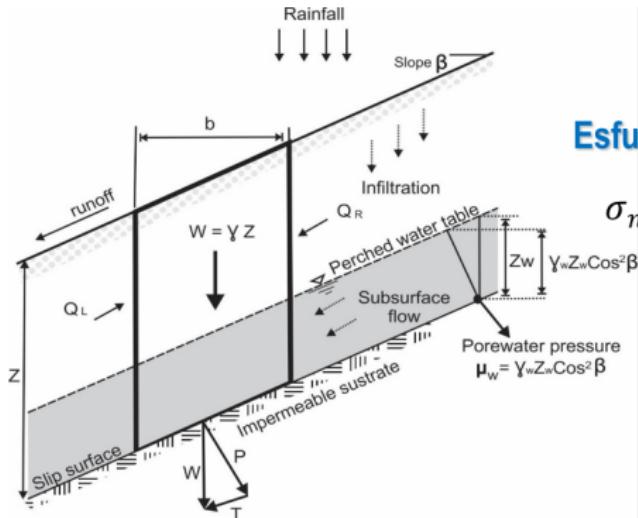
Medio fracturado



Zona Vadosa



Análisis de talud infinito



Esfuerzos normales

$$\sigma_n = \gamma Z \cos^2 \beta$$

Esfuerzos cortantes

$$\tau = \gamma Z \sin \beta \cos \beta$$

Resistencia al corte

$$\tau_f = C + \sigma_n \tan \phi$$

Factor de Seguridad en términos de esfuerzos efectivos

$$FS = \frac{C' + (\gamma Z - \gamma_w Z_w) \cos^2 \beta \tan \phi}{\gamma Z \sin \beta \cos \beta}$$

→ Resistencia al cortante

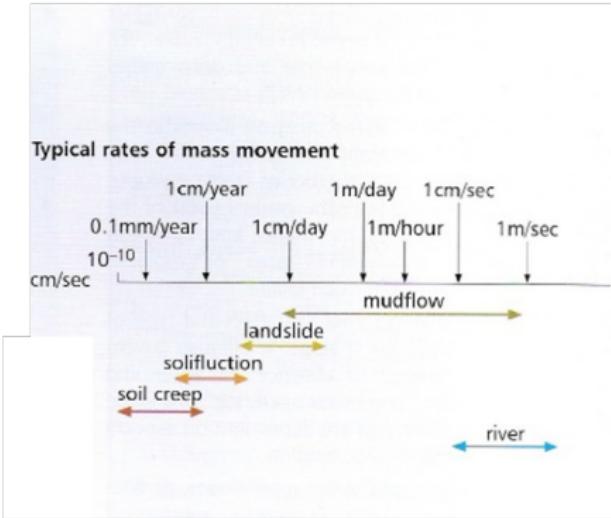
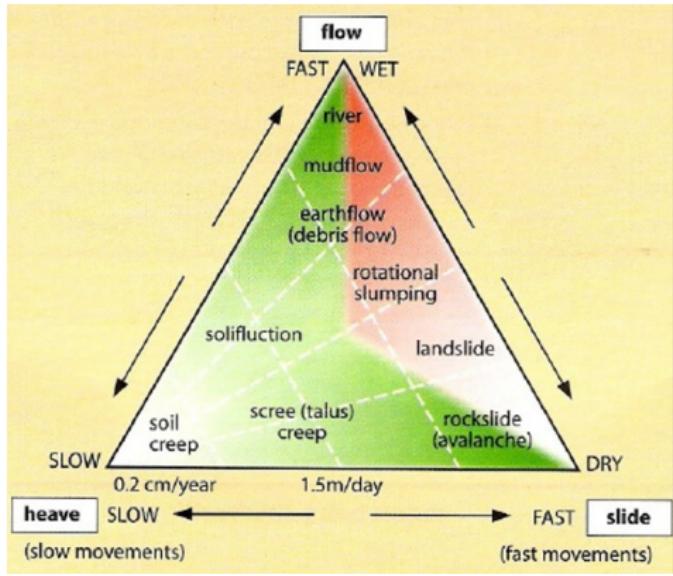
→ Esfuerzos cortantes

Clasificaciones

Existen **numerosas clasificaciones** combinando clima, material movido, coherencia del material, geología, tipo de movimiento, velocidad, agente de transporte, mecanismo detonante, atributos morfológicos (Kenney en Brunsden & Prior, 1984).

✓ Blong (1973)	Morfología	Material	Movimiento	
✓ Coates (1977)	Material	Movimiento	Velocidad	
✓ Crozier (1973)	Movimiento	Morfología		
✓ Hutchinson (1988)		Material	Movimiento	
✓ Ladd (1935)	Geología	Detonante		
✓ Sharpe (1938)	Material	Movimiento	Velocidad	Transporte
✓ Varnes (1978)	Material	Movimiento	Velocidad	Transporte
✓ Ward (1945)	Clima	Material	Movimiento	Transporte
✓ Zaruba & Menc (1969)	Material	Geología		Movimiento

Clasificaciones



Fuente: Carson & Kirkby (1972)

Cruden & Varnes (1996)

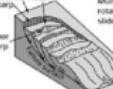
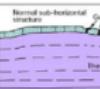
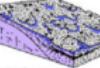
Material & movimiento

Clasificación **mas ampliamente conocida y utilizada** acogida por el **WP/WLI**. Actualización de la clasificación de **Varnes (1978)** en el **Reporte Especial 247** de la TRB-NRC.



Fuente: Cruden & Varnes (1996)

Cruden & Varnes (1996)

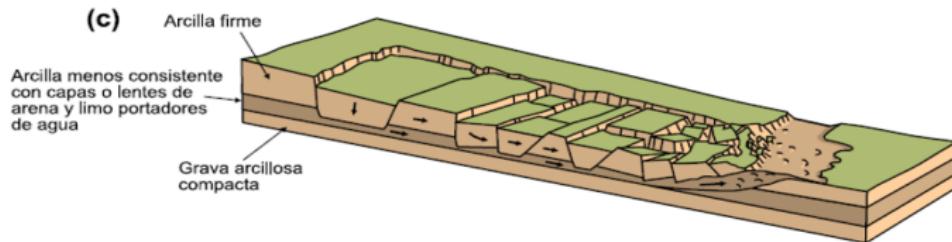
Material	ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type			
FALLS			
TOPPLES			
SLIDES			
TRANSLATIONAL (Planar)			
SPREADS			
FLOWs			
COMPLEX			

Fuente: Cruden & Varnes (1996)

Propagación Lateral

Lateral Spreading

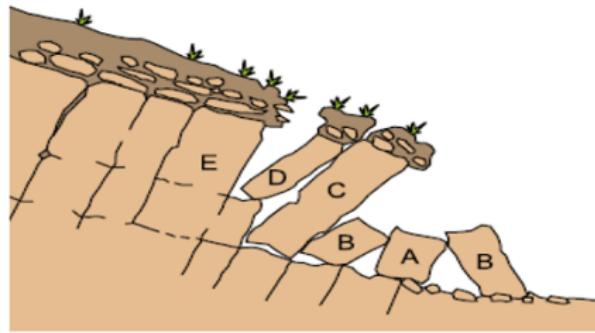
- Extensión lateral por fracturas de corte y tensión con una subsidencia general de la masa fracturada en el material subyacente menos consistente.
- Falla progresiva.
- Licuefacción o flujo del material menos consistente.



Volcamiento

Toppling

- Rotación hacia adelante de una masa de suelo o roca sobre un punto o eje bajo el centro de gravedad de la masa desplazada.
- Gravedad y en ocasiones por agua o hielo en las grietas de la masa.
- Extremadamente lento a extremadamente rápido



Volcamiento

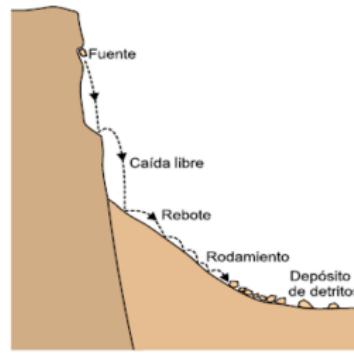
Toppling



Caida

Fall

- Inicia con el desprendimiento de suelo o roca de una fuerte pendiente a lo largo de una superficie con un pequeño componente o sin desplazamiento cortante.
- Principalmente a través del aire por caída, rebote o rodamiento.
- Muy rápido a extremadamente rápido.
- Suelos cohesivos o rocas.
- Márgenes de ríos por erosión o acantilados bajo el ataque de las olas
- Rodamiento, rebote, caída libre



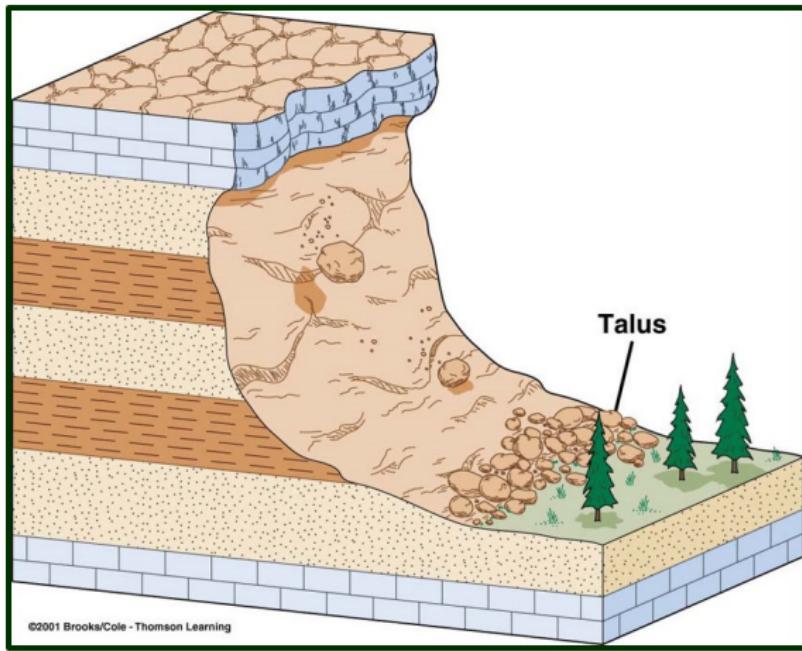
Caida

Fall



Caida

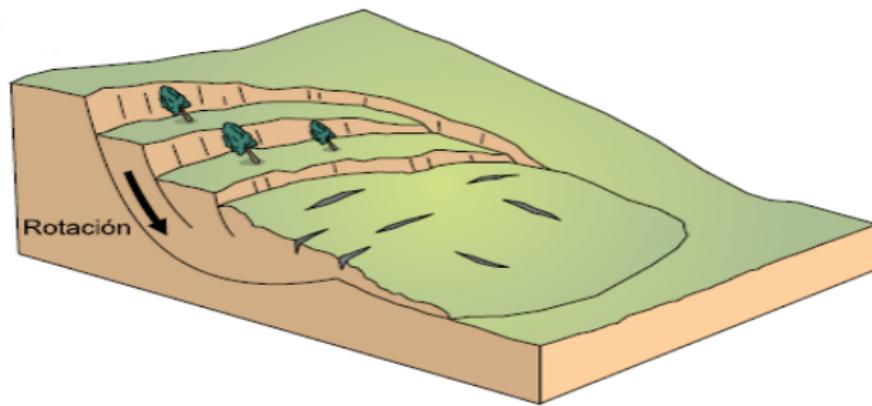
Depósitos de vertiente: Talus



Deslizamiento Rotacional

Rotational Slide

- Material homogéneo.
- La superficie de rotura es cóncava y curva.
- Tiende al equilibrio la masa desplazada.



Deslizamiento Rotacional

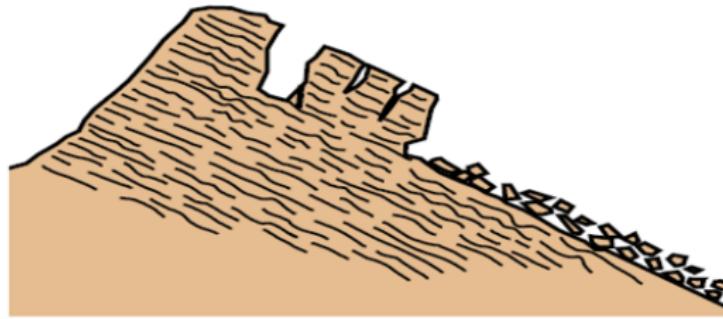
Rotational Slide



Deslizamiento Planar

Traslational Slide

- La masa se desplaza a lo largo de una superficie planar u ondulada.
- Mas superficiales a los rotacionales.
- Sigue discontinuidades como fallas, superficies de depositación o de contacto suelo-roca.



Deslizamiento Planar

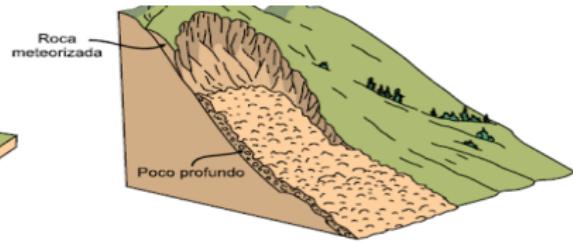
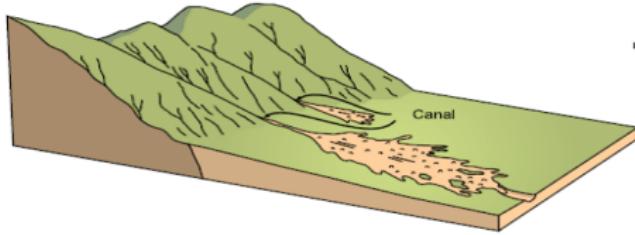
Traslational Slide



Flujos

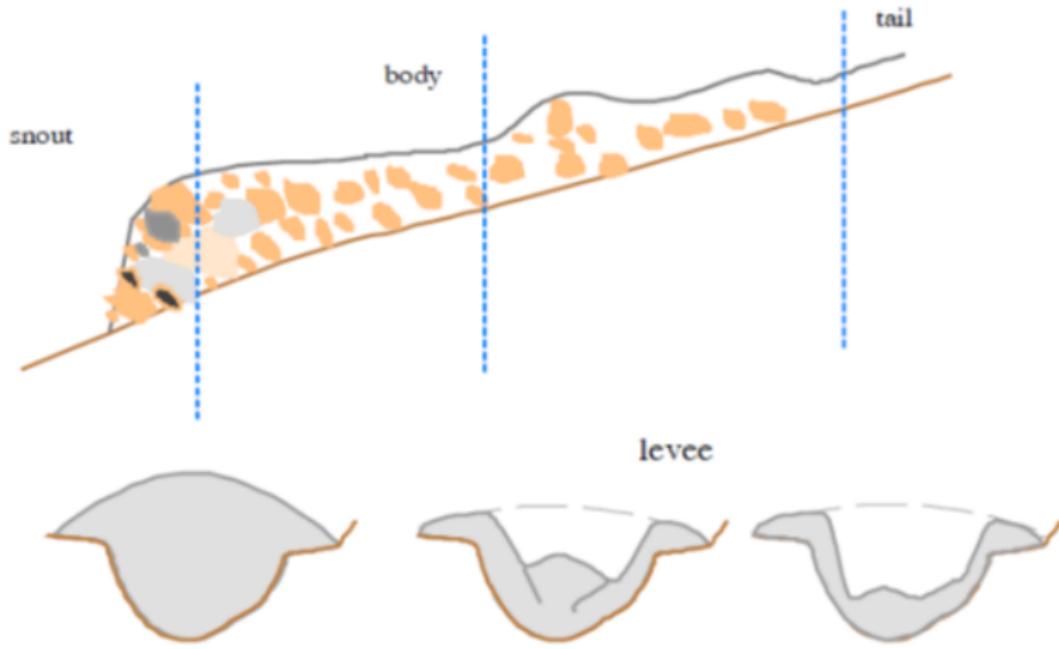
Flows

- Movimientos continuos espacialmente en los cuales la superficie cortante es momentánea y no se preserva.
- Movimientos diferenciales internos se distribuyen a lo largo de la masa desplazada.
- Gradación desde deslizamientos a flujos dependiendo del contenido de agua, mobilidad y evolución del movimiento.
- Flujos superficiales *Skin flow, flujos de escombros en laderas abiertas Open-slope debris flow, flujos canalizados Channelized flows, Avalanchas de escombros Debris avalanche, flujos de escombros provenientes de volcanes Lahar.*



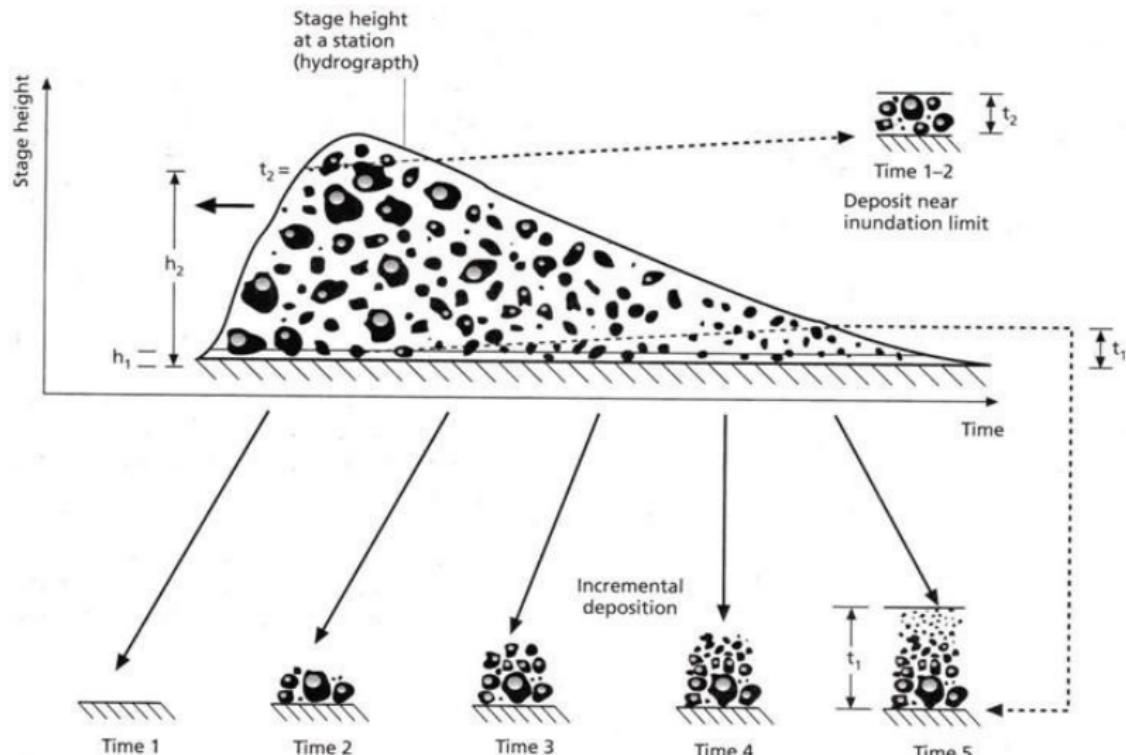
Flujos

Flows



Flujos

Flows



Flujos

Flows

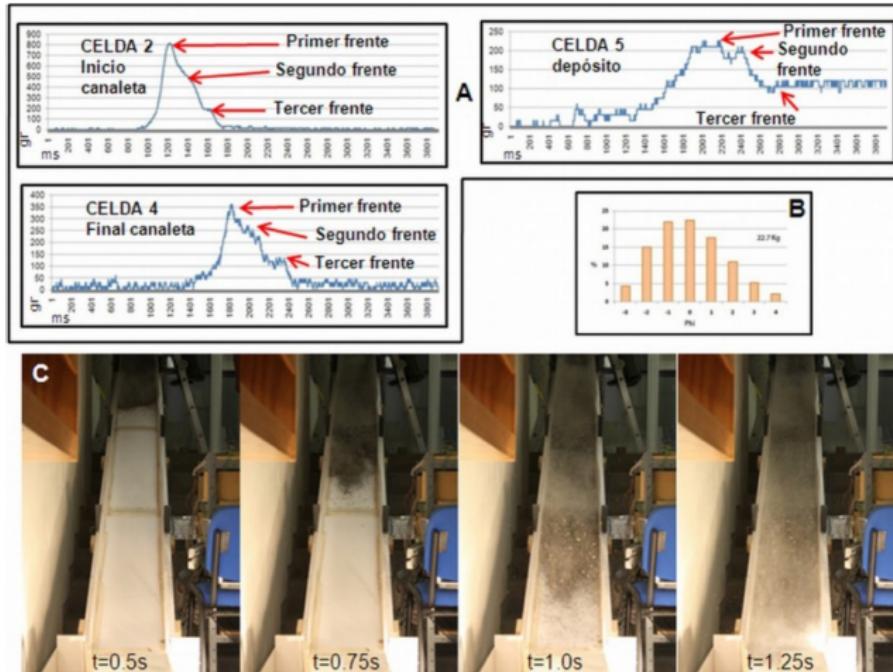


Figura 3. Ejemplos de gráficas construidas a partir de datos obtenidos por las diferentes celdas de carga (A). Se aprecia cómo la segregación del material, observada en las fotografías (C), corresponde con tres cambios bien definidos en dichas gráficas evidenciados con las flechas de color rojo. Se muestra la distribución granulométrica del material lanzado (B).

Flujos

Flows



Google Earth

Flujos

Flows



Flujos

Flows



Entonces este es un...?



Entonces este es un...?

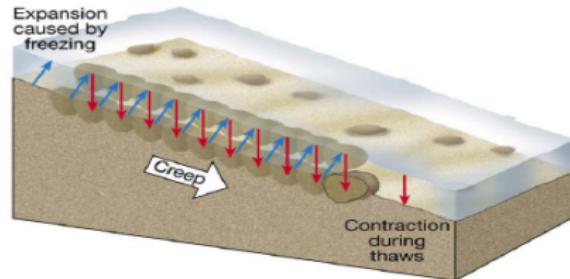


Y este...?

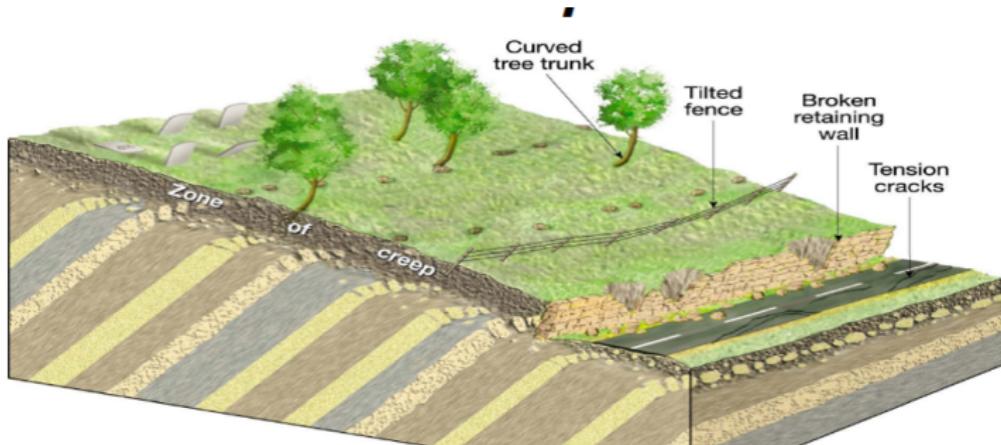


Reptación

Creeping



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



Creep es simplemente la deformación que continua bajo esfuerzos constantes (Varnes, 1978).

La reptación de suelos ha sido considerada como un conjunto de movimientos en masa lento (continuos y estacionales), causado por temperatura y condiciones de humedad y biota, y balanceado por la topografía, procesos de meteorización de la roca y tasa de producción del suelo.

La reptación de suelo (*creeping of the surface soil*, Davis (1982)) fue descrito como el resultado de la gravedad, fluctuaciones de la temperatura y la acción de la biota, retrabajado en un fenómeno permanente de dilatación y contracción en climas tropicales.

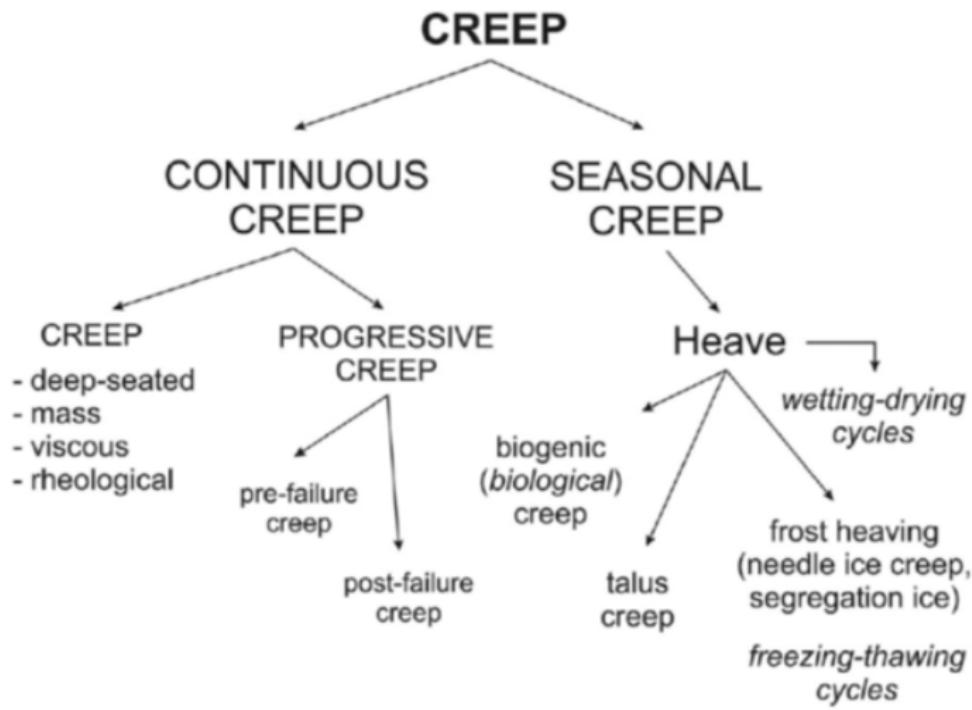
Davison (1889) propuso que durante el congelamiento y cambio del nivel freático: (i) expansión del suelo normal a la superficie, pero (ii) contracción vertical, y (iii) la cohesión del suelo previene desplazamientos paralelos a la superficie durante la expansión.

Los flujos implican movimientos mucho mas rápidos que la reptación, es decir pueden ser perceptibles, mientras que la reptación es imperceptible.

Movimiento tipo difusivo (*diffusion-like*) movimiento aleatorio de las partículas del suelo resultando en la dispersión desde regiones de alta concentración (densidad) a regiones de baja concentración (Kirkby, 1967).

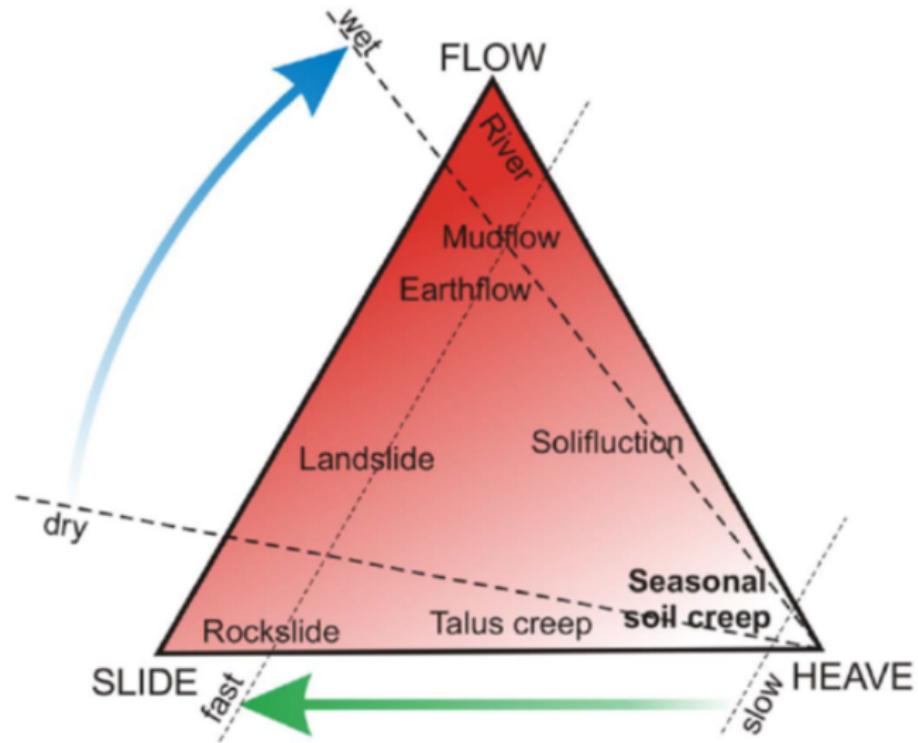
Reptación

Creeping



Reptación

Creeping



Reptación

Creeping

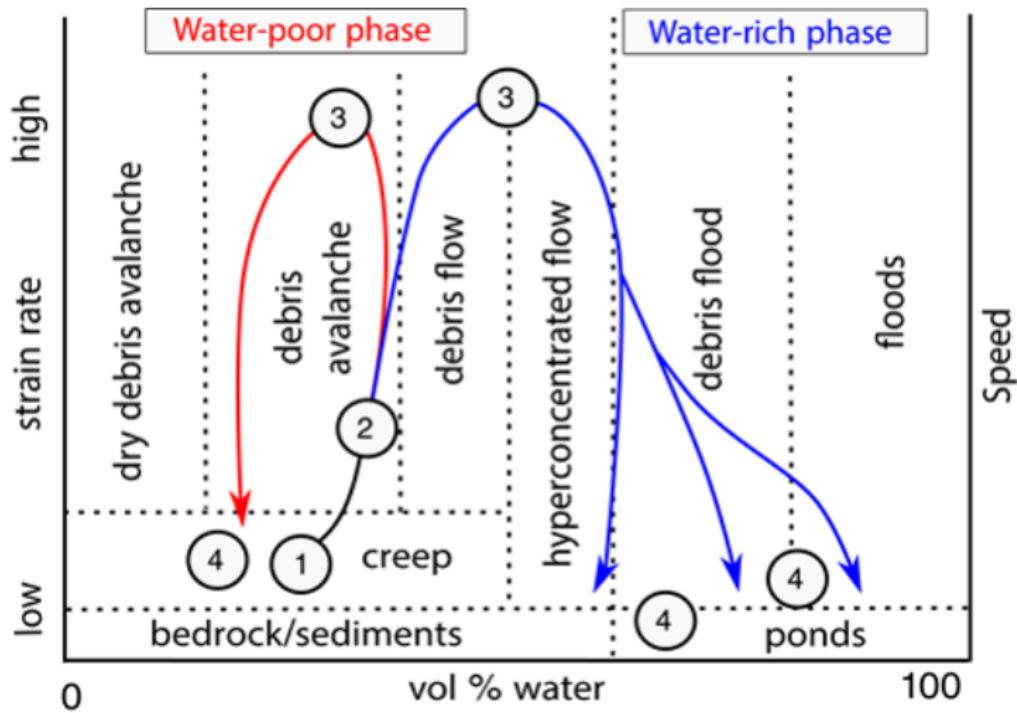


Fuente: Pawlik & Samonil (2018)

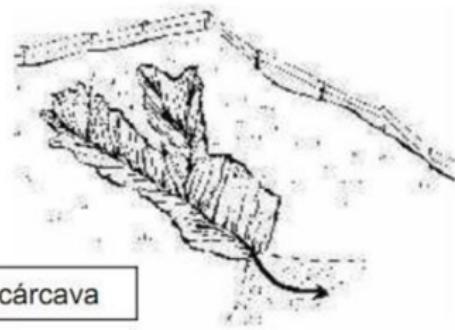
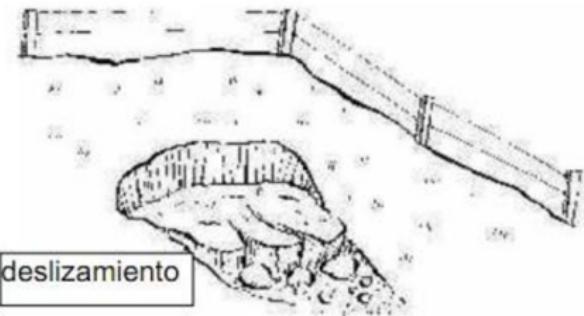
Depósitos de vertiente



Proceso continuo espacial y temporalmente



Cárcava o MenM



Coluvión

- Sedimentos de laderas (Leopold & Volkel, 2007)
- Localizados en la base de las laderas (Lapidus, 1990; Soil Survey Staff, 1993; Eggleton, 2001; Millar, 2014)
- No seleccionado (Marsh & Kaufman, 2012)
- Poco transporte (Foucault et al, 2014)
- Fragmentos angulares (Soil Survey Staff, 1993)
- Resultado del transporte por gravedad y por flujos no canalizados (Millar , 2014)
- Transportados bajo la influencia de la gravedad asistidos por agua (Schaetzl & Thompson, 2015)

https://www.researchgate.net/post/How_do_you_define_colluvium Fuente: Miller & Juilleret (2015)