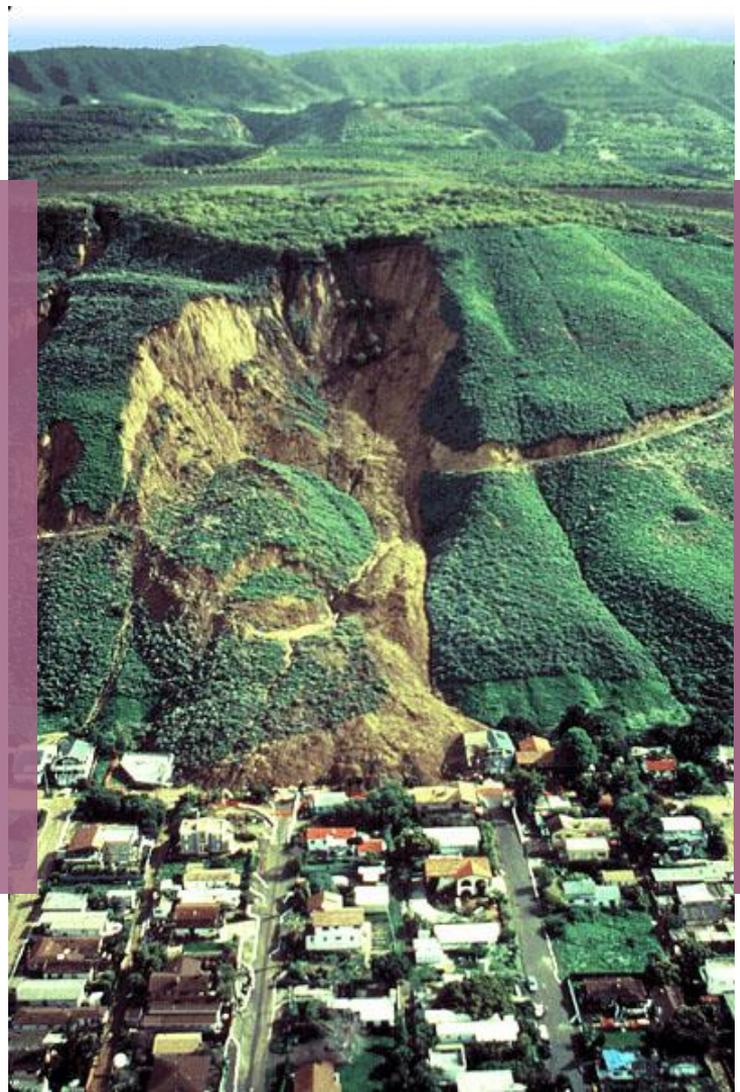


Movimientos de Masa Mass Waste PGRM

M.C. Alba L. Martínez Haros



Deslizamientos y flujos de tierra

Los deslizamientos y flujos de tierra son movimientos espontáneos que tienden a estabilizar las pendientes inestables.

- Son el resultado de:
 - Pendientes muy escarpadas
 - Pendientes sobrecargadas
 - Reducción de la fricción existente entre las rocas y el suelo en la pendiente
- Las construcciones pueden cambiar una pendiente estable en inestable
 - También se mencionan como Procesos Gravitacionales de Remoción de Masa (PGRM ó PRM).



Tipos básicos de Movimientos de Masa

a)

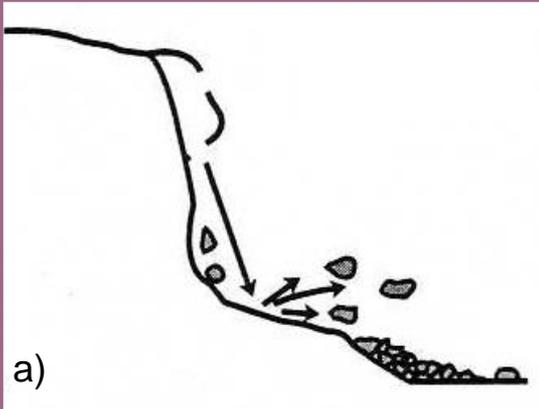
Caídas o derumbes

b)

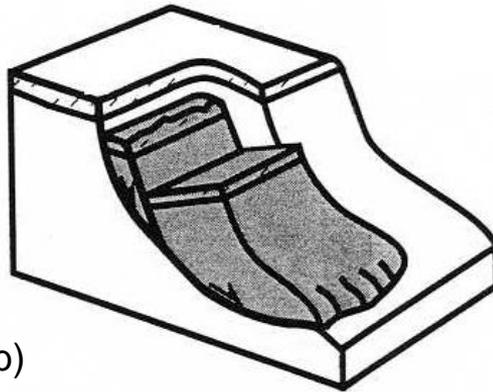
Deslizamientos

c)

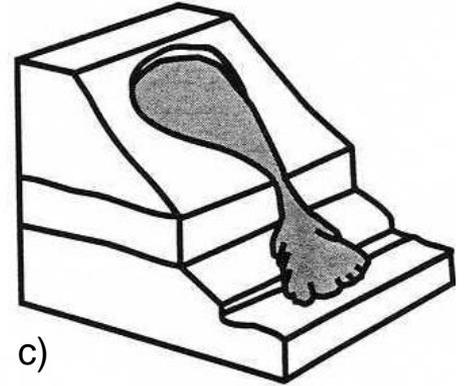
Flujos



a)



b)



c)

Caídos o derrumbes

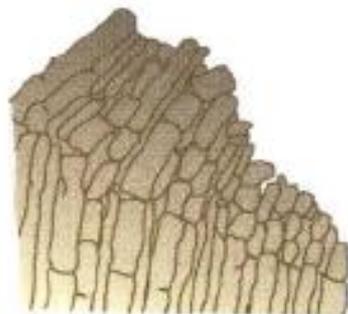
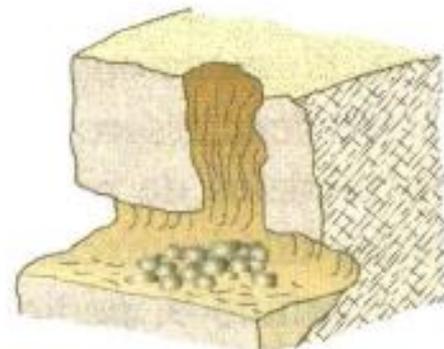
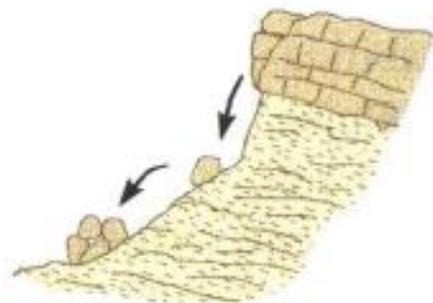
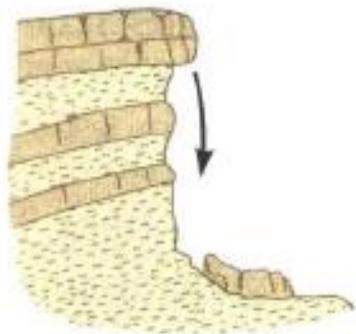
Movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes muy fuertes y acantilados. Movimiento prácticamente de caída libre, rodando y rebotando; incluye:

Desprendimientos: Caída de suelos producto de la erosión o de bloques rocosos, atendiendo a discontinuidades estructurales (grietas, planos de estratificación o fracturamiento) proclives a la inestabilidad.

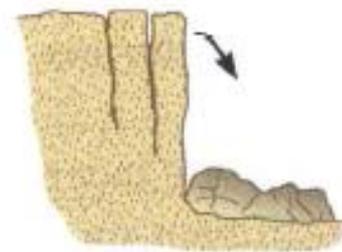
Vuelcos o volteos: Caída de bloques rocosos con giro hacia adelante, propiciado por la presencia de discontinuidades estructurales (grietas de tensión, formaciones columnares, o diaclasas) que tienden a la vertical.



Desprendimientos



Rocas



Suelos

Vuelcos

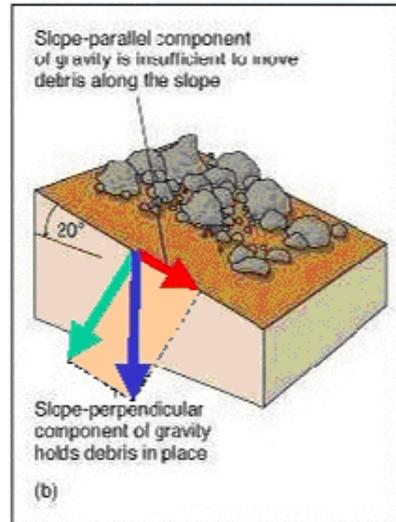
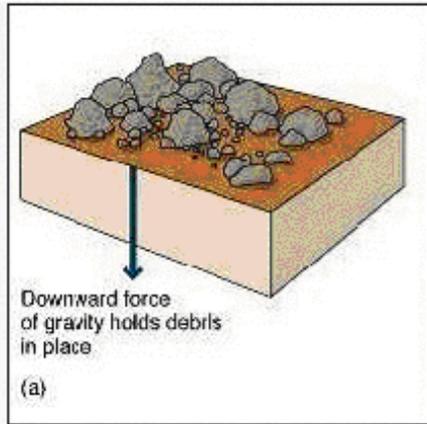
Deslizamientos

Un deslizamiento ocurre cuando se rompe o pierde el equilibrio de una porción de los materiales que componen una ladera. Aunque los deslizamientos usualmente suceden en taludes escarpados, tampoco es raro que se presenten en laderas de poca pendiente. Son primariamente ocasionados por fuerzas gravitacionales, y resultan de una falla por corte a lo largo de la frontera de la masa en movimiento, respecto a la masa estable. Pueden ser desencadenados tanto por cambios en el ambiente natural, como por actividades humanas.

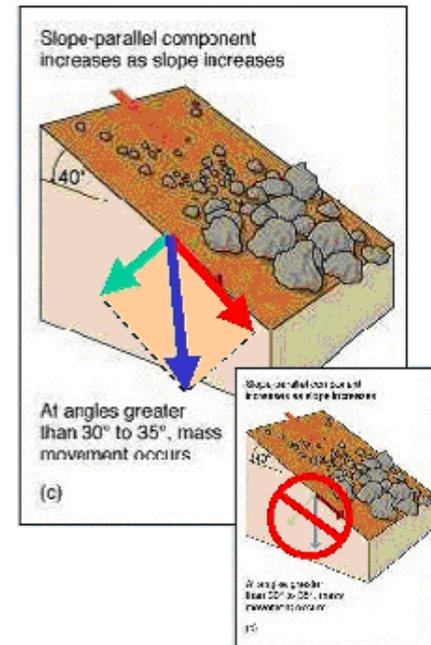


Los deslizamientos ocurren cuando en la pendiente, el esfuerzo paralelo excede el esfuerzo perpendicular

Esfuerzo perpendicular () mantiene a las rocas sobre la pendiente



Esfuerzo paralelo () empuja las rocas pendiente abajo



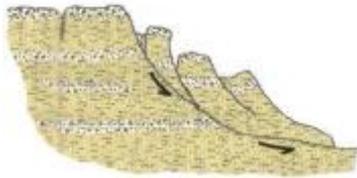
La longitud de la flecha es proporcional a la magnitud del esfuerzo

Deslizamientos

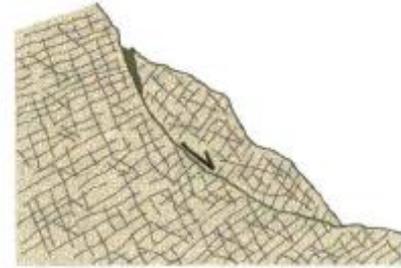
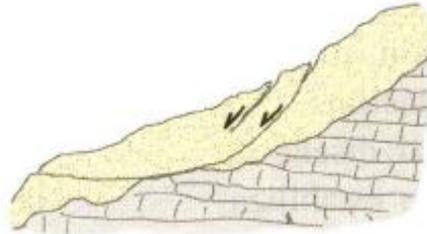
Rotacionales: Deslizamientos en los que su superficie principal de falla resulta **cóncava hacia arriba** (forma de cuchara o concha), definiendo un movimiento rotacional de la masa inestable de suelos y/o fragmentos de rocas con centro de giro por encima de su centro de gravedad. A menudo estos deslizamientos rotacionales ocurren en **suelos arcillosos blandos**, aunque también se presentan en formaciones de rocas blandas muy intemperizadas.

Traslacionales: Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentos de rocas **se desplazan hacia afuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie de falla más o menos plana**, con muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Usualmente determinan deslizamientos someros en suelos granulares, o bien están definidos por superficies de debilidad en formaciones rocosas, tales como planos de estratificación, juntas y zonas de diferente alteración o meteorización de las rocas, con echado propicio al deslizamiento.

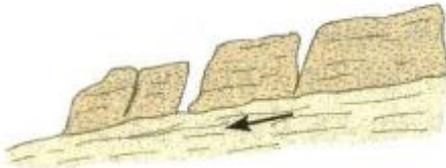
Deslizamiento rotacional



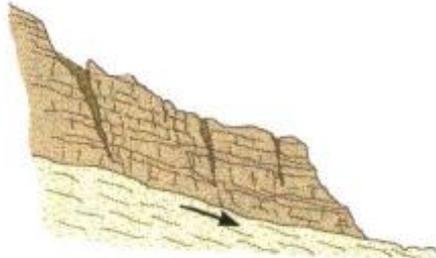
Suelos



Rocas



Suelos



Rocas

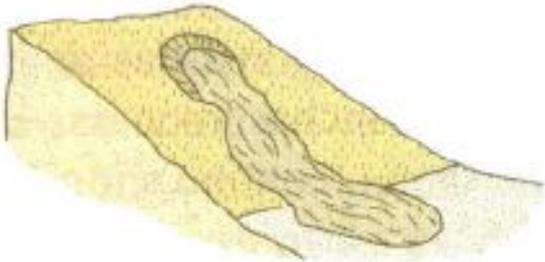
Deslizamiento traslacional

Flujos

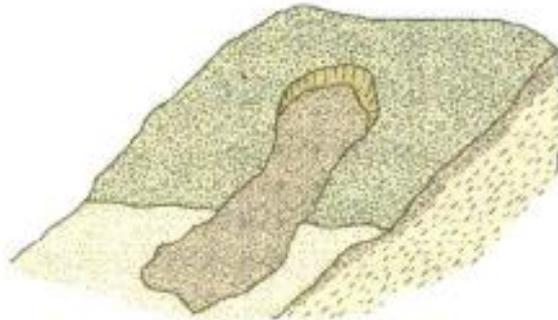


- Movimientos de suelos y/o fragmentos de rocas pendiente abajo de una ladera, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla.
- Los flujos pueden ser de muy lentos a muy rápidos, así como secos o húmedos; pueden distinguirse:
- **Flujos de lodo:** Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de arena y limo, y partículas arcillosas.
- **Flujos de tierra o suelo:** Masa de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente, y que contiene por lo menos 50% de granos de grava, arena y limo.
- **Flujos o avalancha de detritos:** Movimiento rápido de una mezcla en donde se combinan suelos sueltos, fragmentos de rocas, y vegetación con aire y agua entrampados, formando una masa viscosa o francamente fluida que fluye pendiente abajo.

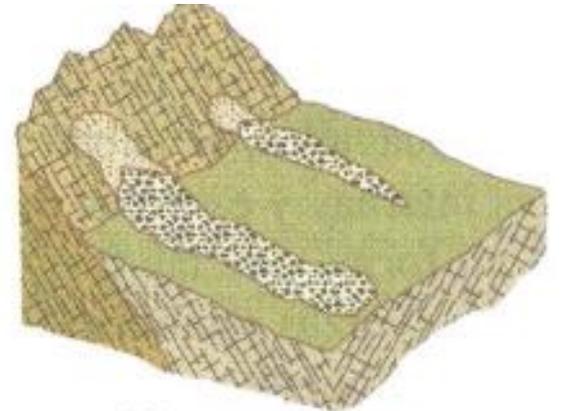
- **Creep o flujo muy lento:** A diferencia de los casos anteriores, es un movimiento constante pero muy lento de suelos y rocas pendiente abajo, en el que no se define con precisión la superficie de falla.
- **Lahar:** Flujo de suelos o detritos que se origina en las laderas de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos, deshielo repentino por actividad volcánica, o bien por rotura o desbordamiento de represas de agua.



Suelos



Derrubios



Bloques rocosos

Flujo de detritos



El Material fluye pendiente abajo como una mezcla de fragmentos de roca arcilla y lodo.
Ocurre en suelos arcillosos, volcanes.

Volumenes

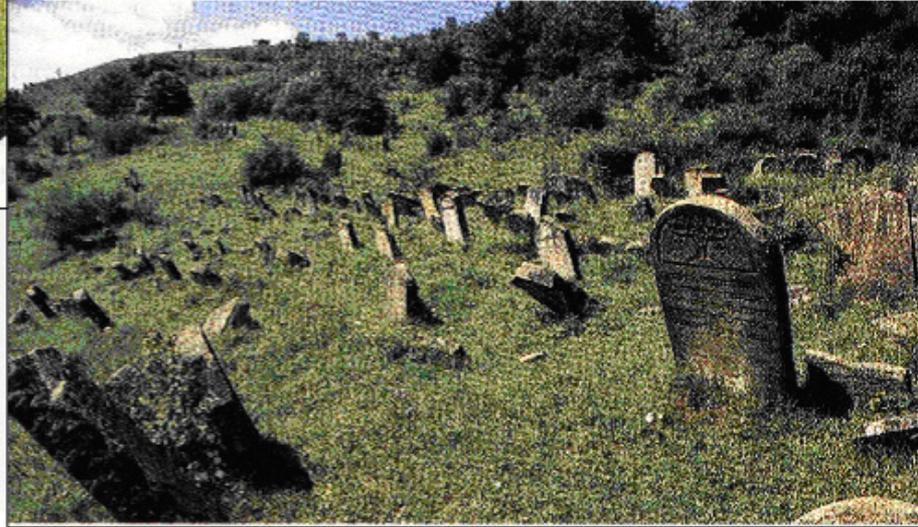
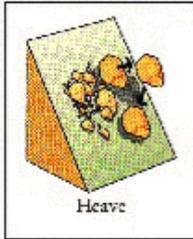
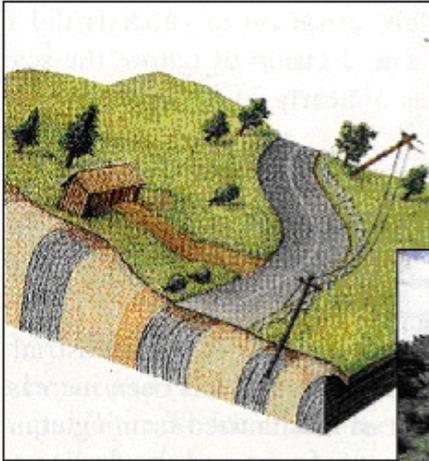
- ~10,000 cu.m
- Pocos 10 cu.km

Vel 0.1- 20 km/hr

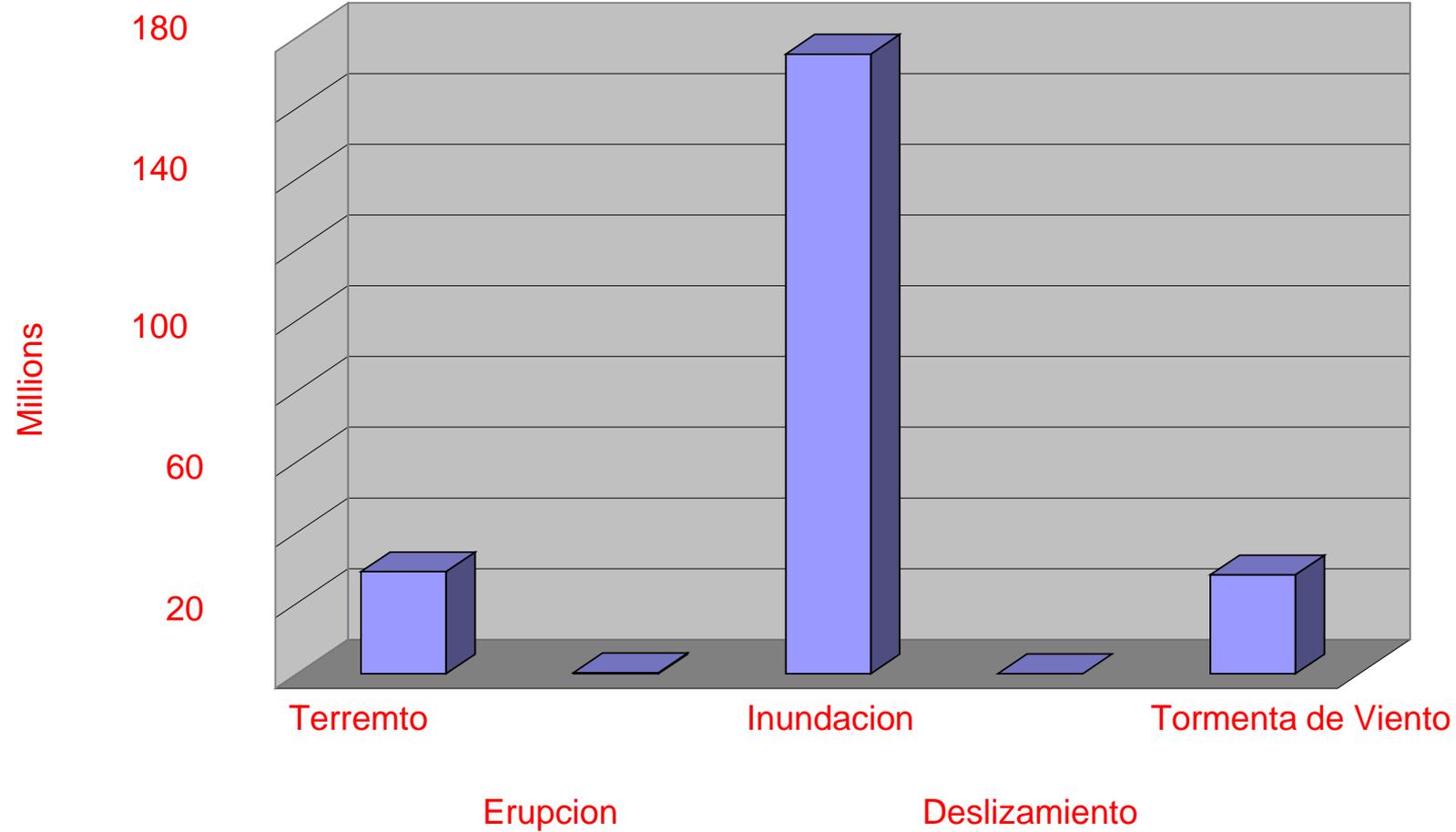
Muy destructivos

Campania (Italia) 1998

Arrastres (CREEP)- lento, húmedo.



**Afectados
1900-1976**

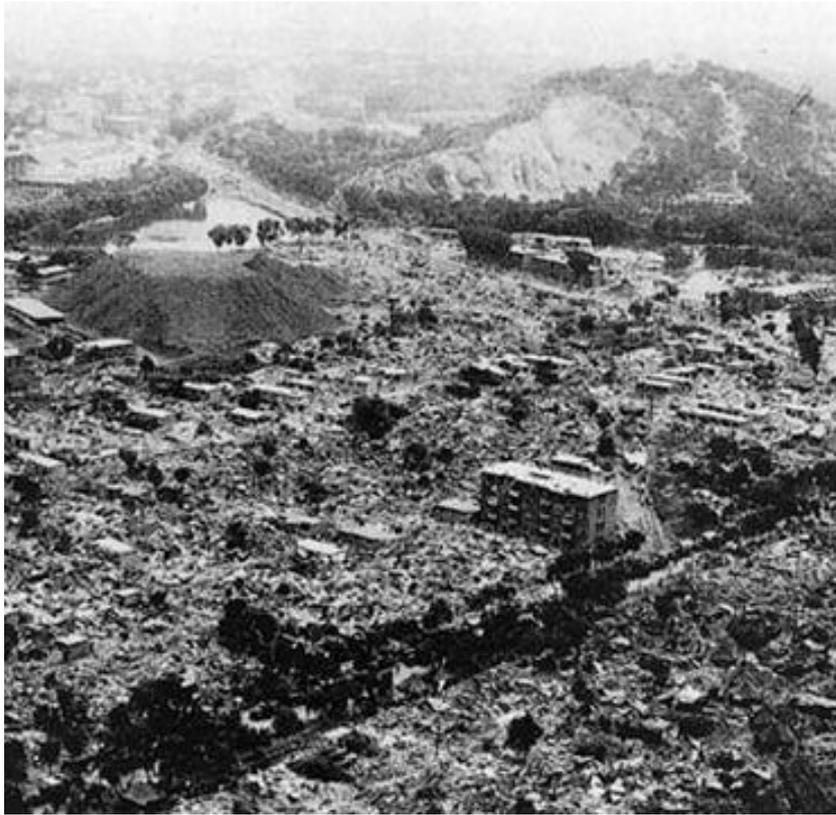


Deslizamientos = 44,673

Catastrofes del siglo 20 (deslizamientos)

Kansu (China)	1920	Flujo de Loess	200,000
Gros Ventre (Wyoming)	1925	Caida de roca	~40
Madison (Montana)	1959	Caida de roca	>100
Vaiont (Italy)	1963	Caida de roca	2,600
Aberfan (Wales)	1966	Deslizamiento	144
Huascarán (Peru)	1970	Complejo	25,000
Nevado del Ruiz (Colombia)	1985	Flujo detritos	23,000
Casitas (Nicaragua)	1998	Flujo detritos	+2,000
Venezuela	1999	Complejo	+20,000
Swiss/Italian Alps	2000	Flujo detritos	38





Kansu China

El 16 de diciembre de 1920 un terremoto de magnitud 8.6 en la escala de Richter desencadenó un deslizamiento de material fino (loess).

El loess (limo depositado por el viento) es lo suficientemente fuerte para formar pendientes casi verticales que fueron alteradas con facilidad por la actividad sísmica.

Se perdieron aproximadamente 180,000 vidas.

Gros Ventre



Ocurrió el 23 de Junio de 1925 en Gros Ventre, Wyoming, como consecuencia del derretimiento de paquetes de nieve y varias semanas de lluvia.

38,000,000 m³ de sedimentos se deslizaron hacia el norte de Sheep Mountain, cruzaron el río Gros Ventre y se depositaron al lado opuesto de la montaña.

- El deslizamiento creó una gran presa de 61 m de alto y 370 m de ancho, formando el lago Lower Slide.
- En mayo de 1927 una porción de la presa de deslizamiento se desprendió, dando como resultado una inundación masiva que arrasó con el poblado de Kelly 10 km corriente abajo.

Madison Montana

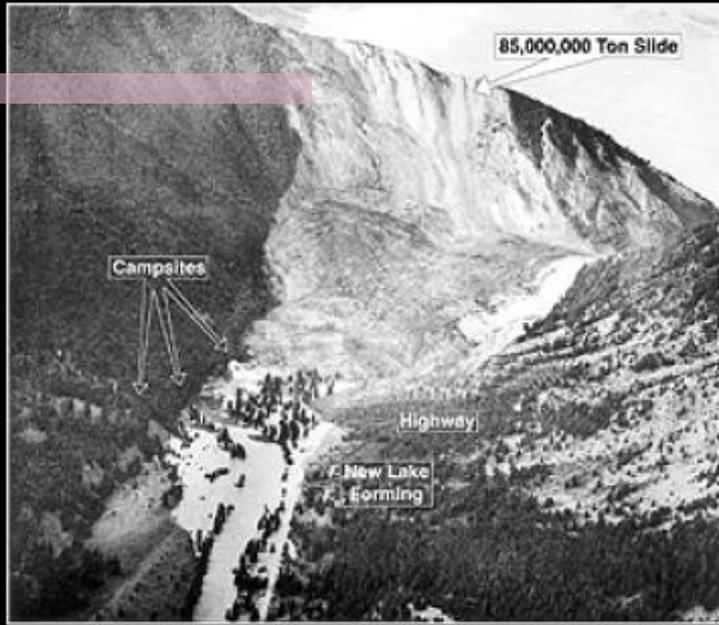


Photo courtesy of the Deseret News

- El terremoto de Yellowstone en 1959, también conocido como el terremoto de Hebgen Lake, con una escala de 7.3 -7.5 Richter, generó un gran deslizamiento que ocasionó alrededor de 100 muertes y dejó 11 millones de dolares en pérdidas.
- Bloqueó el flujo del Río Quake y sus efectos también se sintieron en Wyoming.



Vaiont Italia

- El embalse de Vajont, era un proyecto hidroeléctrico de la compañía SADE, con una capacidad de 168 Hm³. Su presa, iniciada en 1957 y finalizada dos años más tarde, fue la más alta de su tiempo, con 262 metros de altura.
- El **9 de octubre de 1963**, el Monte Toc se mueve definitivamente. Más de 260 millones de metros cúbicos caen sobre la lámina de agua provocando una ola de 200 metros de altura.
- Aguas arriba de la presa, una ola de 50 millones de metros cúbicos arrasa los pueblos de **Spesse, S. Martino, Patata y El Cristo** (municipio de Erto e Casso) y ocasiona **150 muertos**.
- La otra mitad de la ola, con unos 25 millones de metros cúbicos, sobrepasa la pared de la presa y borra de la faz de la Tierra cinco pueblos, **Longarone, Rivalta, Villanova, Faè y Pirago**, con un balance total de **2000 muertos y decenas de heridos** (160 aprox.). En Longarone sólo queda en pie el ayuntamiento (palacio Mazzolà) y 14 casas.

Nevado de Ruiz

- El Nevado del Ruiz hizo erupción a las 9:09 pm del 13 de noviembre de 1985.
- La erupción produjo flujos piroclásticos que fundieron los glaciares y la nieve, generando cuatro lahares que corrieron por las vertientes del volcán.
- Los lahares, conformados por agua, hielo, material piroclástico incandescente pedra pómez, arena, lodo y otras rocas, se mezclaron a medida que avanzaban cuesta abajo.
- Continuaron su trayecto a una velocidad promedio de 60 km/h erosionando el suelo, arrastrando rocas y destruyendo la vegetación.
- Luego de descender miles de metros, los lahares se dirigieron a los seis ríos que drenan el volcán.
- Uno de los lahares virtualmente borró la pequeña área urbana de Armero.
- El segundo lahar, que descendió por el valle del Chinchiná, mató a cerca de 1.800 personas y destruyó cerca de 400 casas en Chinchiná. En total, más de 23.000 personas perdieron la vida y otras 5.000 resultaron heridas, y más de 5.000 hogares quedaron destruidos.
- Se conoce como el lahar más mortífero del que se tiene conocimiento, y el mayor desastre natural de Colombia.
- El vulcanólogo Bernard Chouet dijo que "el volcán estaba gritando 'estoy a punto de estallar'".



Clasificación

CLASIFICACIÓN DE VARNES

- CAIDAS
- VUELCOS
- DESLIZAMIENTOS
- FLUJOS
- DESPLAZAMIENTO LATERAL
- COMPLEJOS

Fuerzas Resistentes y Inestabilizantes

- La Gravedad.
- Resistencia intrínseca de los materiales que conforman el talud.
- Efecto del agua presente en los materiales que conforman el talud.

Factores de Inestabilidad

INCREMENTAN LOS ESFUERZOS CORTANTES

- Naturales: sismos, erosión en la base, elementos estructurales, etc.
- Antrópicos: aumento del peso del agua, emoción de resistencia natural y adición efectiva de peso.

DISMINUYEN LA RESISTENCIA CORTANTE

- Acción del agua: presión hidrostática, etc.
- Remoción de resistencia.
- Materiales débiles.

Causas comunes de deslizamientos

CONDICIONES DEL TERRENO

- Material geológico.
- Discontinuidades.

CONDICIONES FÍSICOS

- Fenómenos naturales
- Procesos químicos y físicos externos.

PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS

- Modelado superficial.

PROCESOS HUMANOS

- Actividades humanas en general.



DEBRIS FLOW
SIERRA NEVADA
1996-97 RAINY SEASON



La Conchita, California (USGS)







Lahar, Mt. St. Helens (USGS)

Flujo de suelo, Cincinnati,
Ohio



Avalanchas gigantes de roca (Sturzstroms)

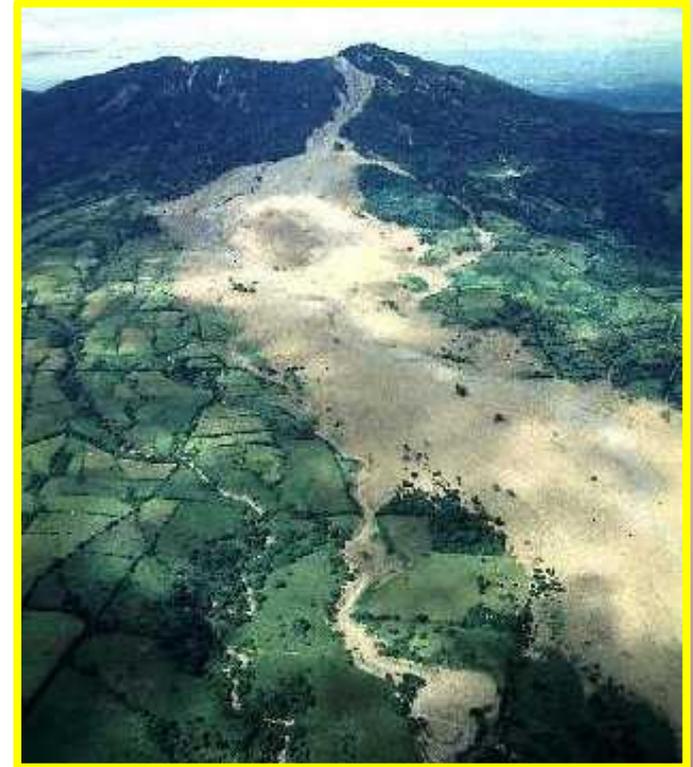
- Eventos extremos
- Varias veces 100,000 cu. M
- Velocidades de ~ 100 m. s
- Viaja kms en minutos
- 1-2 por decada
- Se piensa que viajan sobre almohadas de aire comprimido



Kofels slide (Austria)

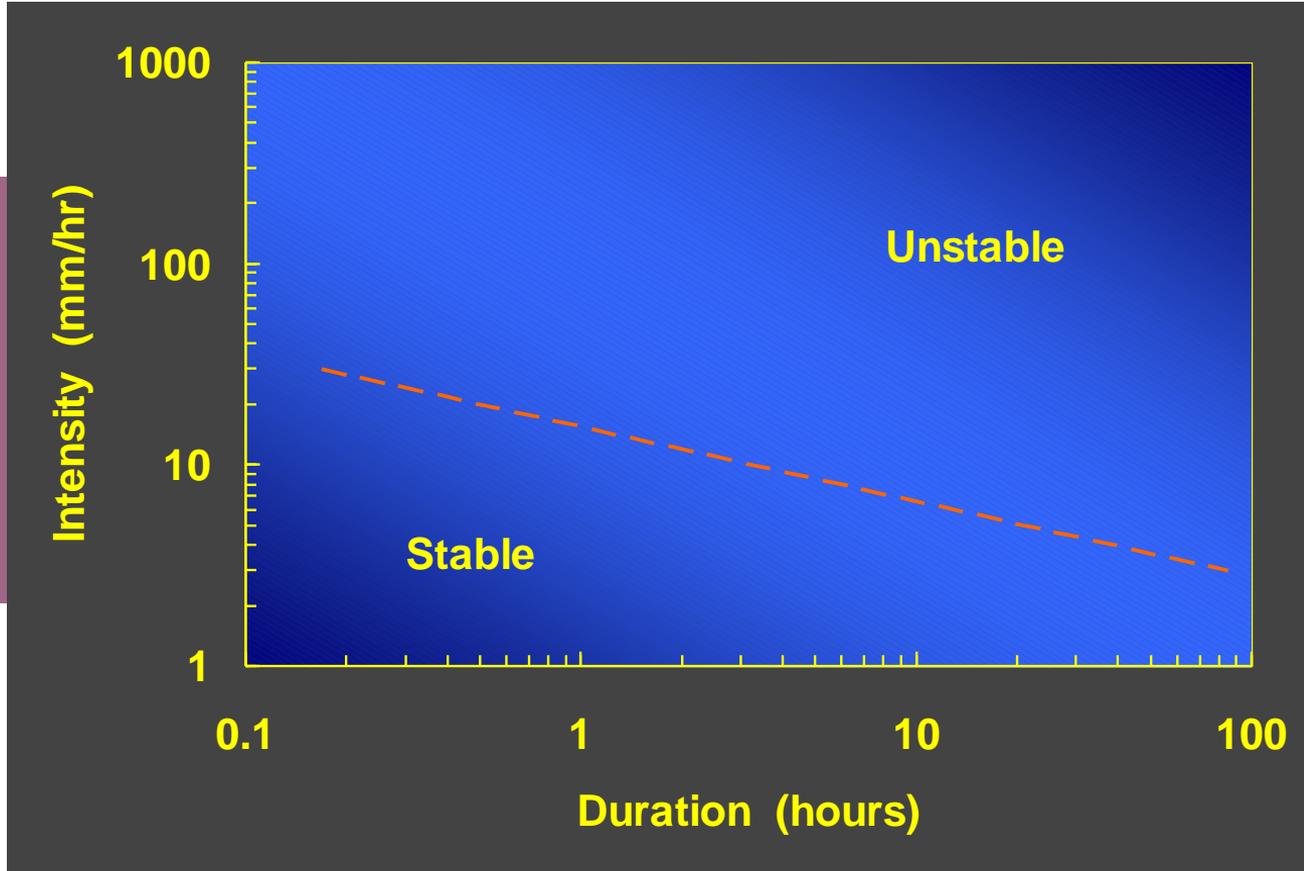
Deslizamientos generados por lluvia

- Función de la intensidad y duración
- Ángulo de pendiente importante
 - Movimiento detonado por presión de poro elevada
 - Fluidización del material de la pendiente
- Anteriores deslizamientos
- Formación de flujo de detritos



Volcán Casitas, Nicaragua 1998

Deslizamientos por lluvias



Lluvia y pendiente



Hurricane Mitch 1998



Mitch

> 30cm lluvia en 24 h

Zona de deslizamientos en C.A.

Deslizamientos generados por sismos

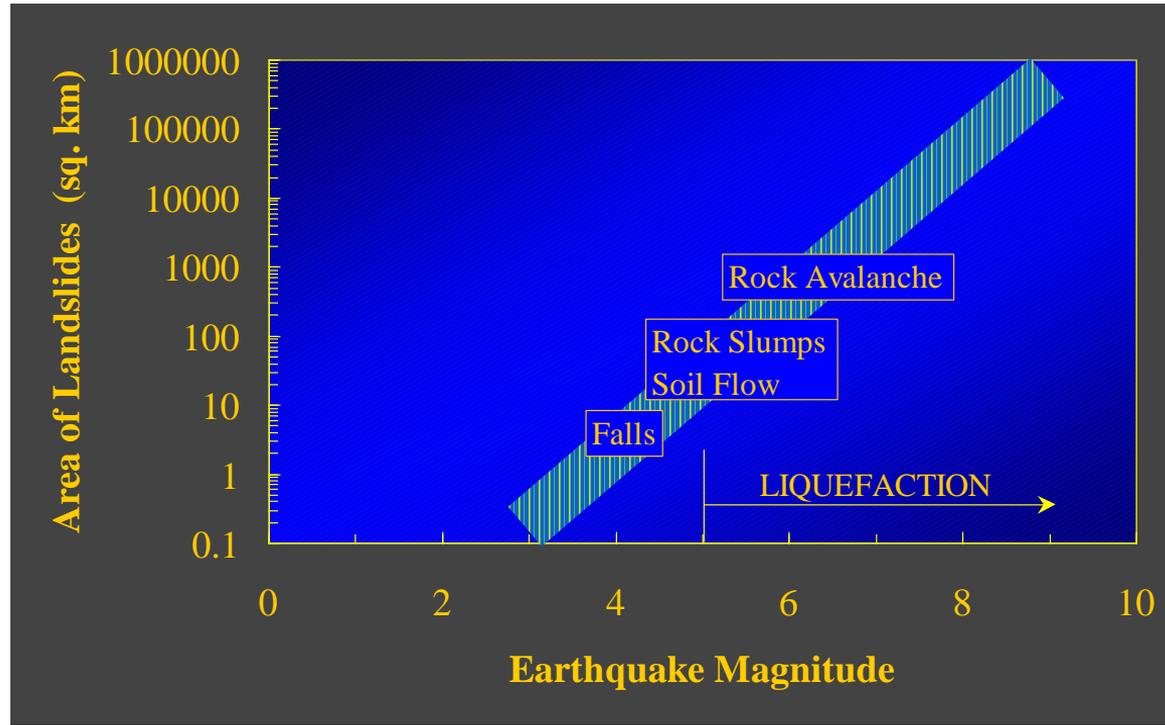


- Detonados por el movimiento del suelo y la licuefacción
- Varían de pequeños volúmenes hasta > de 100,000 cu. M
- Responsable de > 50% de muertes por sismo en Japón



Northridge (California) 1994

Magnitud del sismo vs tipo de deslizamiento



Deslizamientos generados por sismos

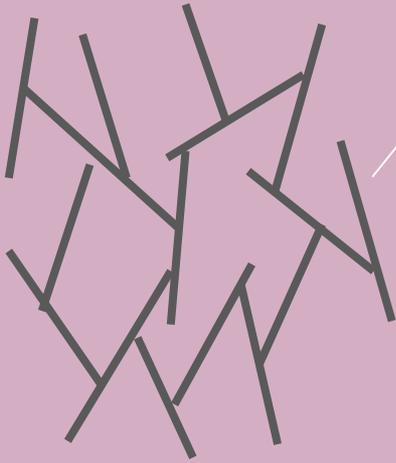
- Decrecimiento de la resistencia de la pendiente.
- Incremento de la cizalla sobre la pendiente
- Licuefacción de arenas y lodos
- Pulsos de gran amplitud en mayor tiempo pueden generar deslizamientos.



El Salvador 2001

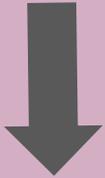
Arcillas las mas susceptibles

Minerales arcillosos



Antes: Estructura en forma de naipes.

Sismo



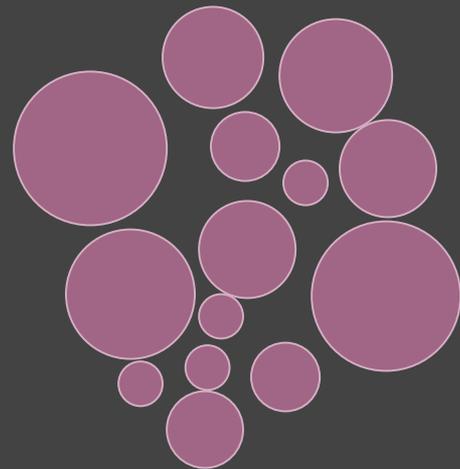
Después: Estructura colapsada



Arenas y lodos

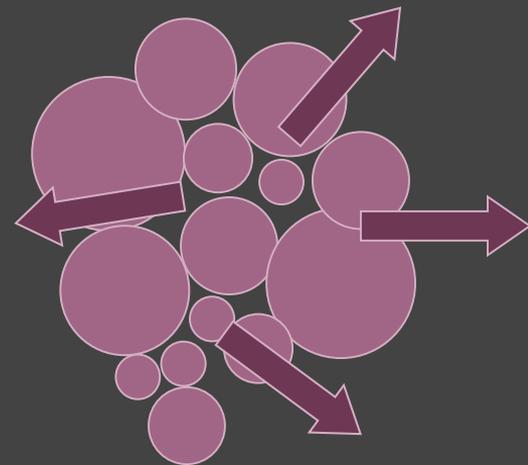
- Pierden resistencia y se convierten en fluido viscoso
- La vibración se transfiere de los granos al agua intersticial
- Genera mayor presión de poro que la resistencia del material.

Estructura original



Colapso

La presión de los poros aumenta



Licuefaccion

Cuando la presión de poro excede la fuerza del peso del sedimento el material se convierte en fluido.

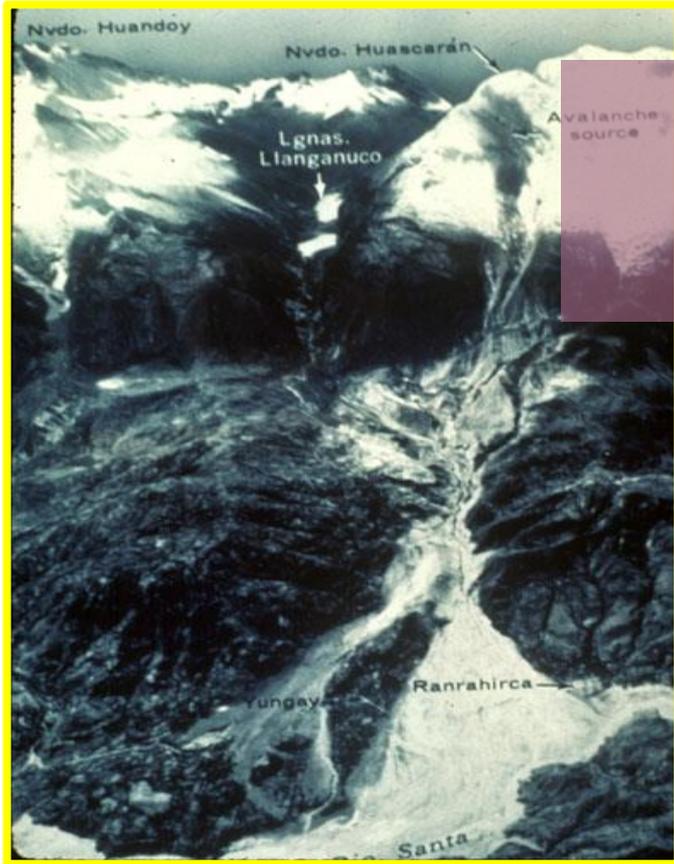


Volcanes de arena

Deslizamientos generados por sismos



San Francisco 1906



Huascarán (Peru) 1970

- 1970 Sismo Magnitud 8
- Detritos cayeron 3.7km y viajaron 11km/min ~ 4 minutos
- 18,000 muertos
- Algunas ciudades con 30m de detritos

Flujo de detritos

- El Material fluye pendiente abajo como una mezcla de fragmentos de roca arcilla y lodo.
- Ocurre en suelos arcillosos, volcanes.
- Volúmenes
 - ~10,000 cu.m
 - Pocos 10 cu.km
- Vel. 0.1- 20 km/hr
- Muy destructivos
- Ruiz (Columbia,1985); Venezuela (1999)
- Alpes suizos(2000)



Campania (Italia) 1998

Flujos recurrentes: Tessina (norte de Italia)



- 1960 1 mill. cu. M
- 1964 2 km largo
- 1990 reactivado

Alpes Suizos 2000



- 74 cm de lluvia en 4 días
- Un evento en 1000 años