



Damian Dovarganes/Associated Press

A 25-foot-high boulder blocked Topanga Canyon Road and cut power lines near Malibu.

# Inestabilidad Gravitacional

# Por qué necesitamos entender los movimientos en masa?



Hong Kong

## FACTORES

- \* Desarrollo Urbano
- \* Clima
- \* Elevación



# Por qué necesitamos entender los movimientos en masa?

- Nevados Huascarán (> 6,400m)
- Capa de hielo
- EQ provoca caída de material/flujo de lodo
  - 18,000 muertes en Yungay
  - amenaza recurrente (1962: 4000)



- FACTORES**
- \* Clima
  - \* Elevación
  - \* Placas Tectónicas

# U.S. Southwest Fisheries

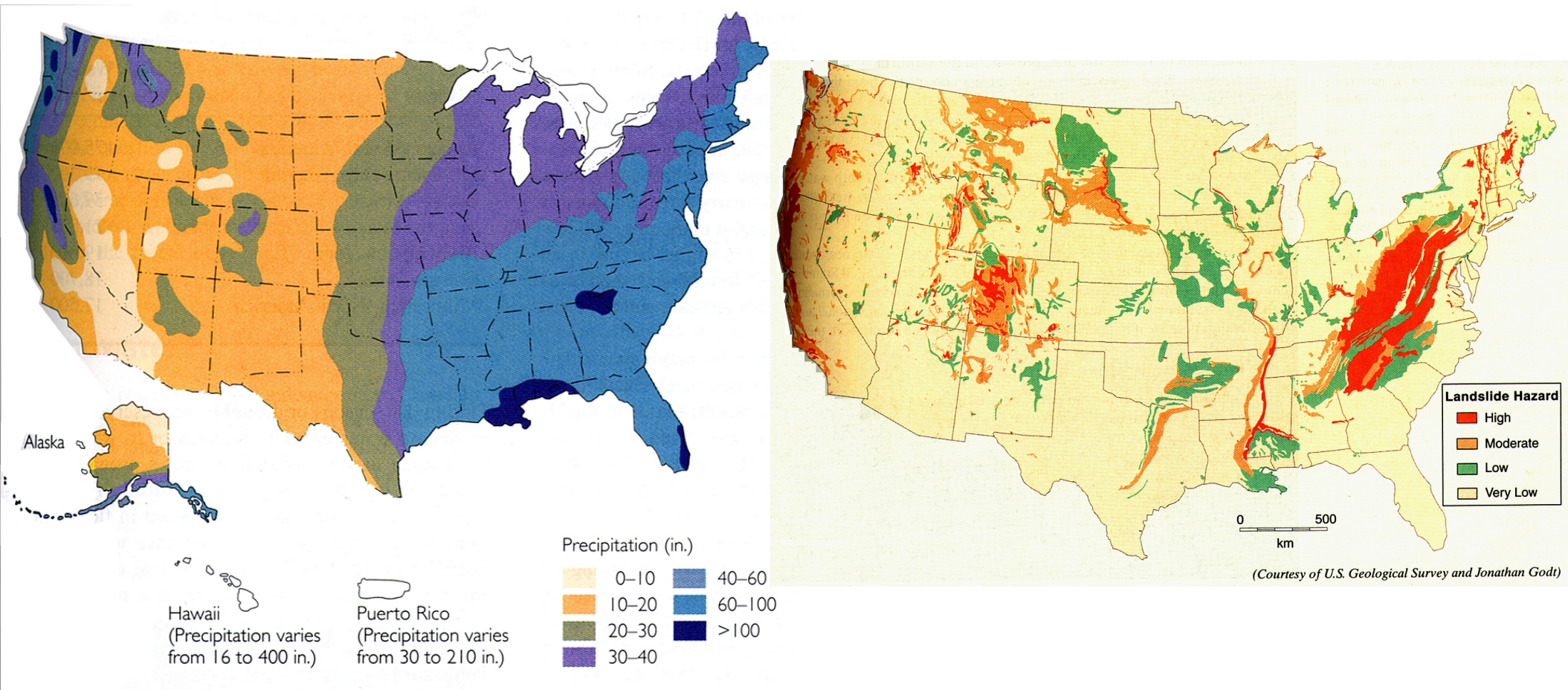


## FACTORES

- \* Clima
- \* Placas Tectónicas
  - Irrigación
  - Ignorancia desarrollo urbano



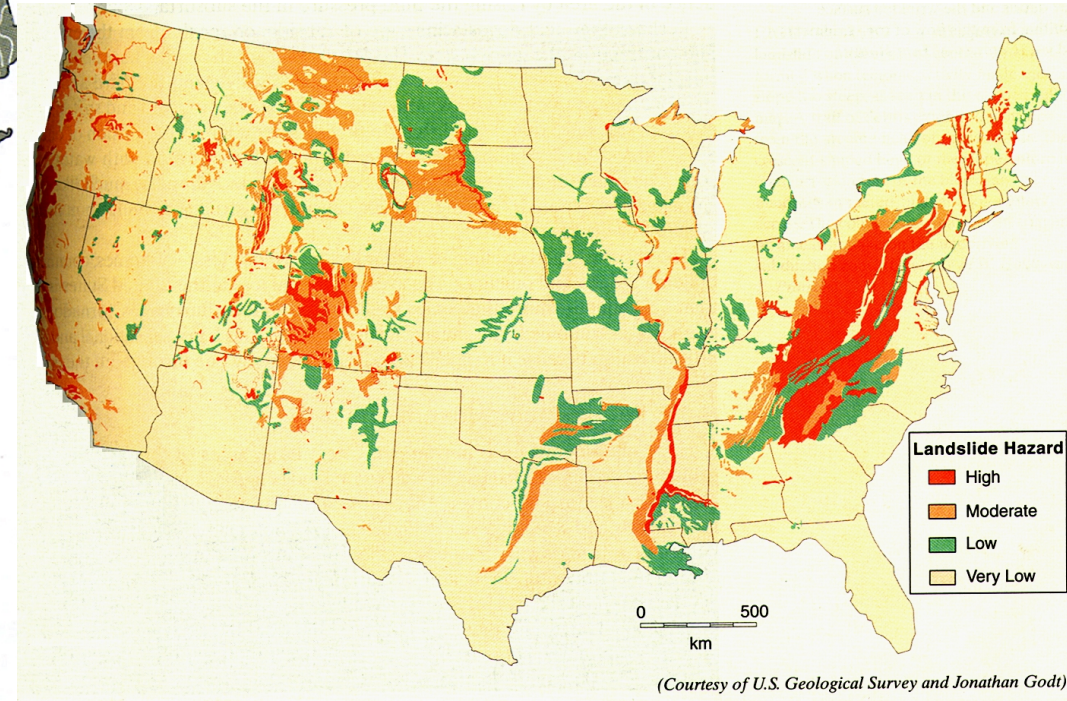
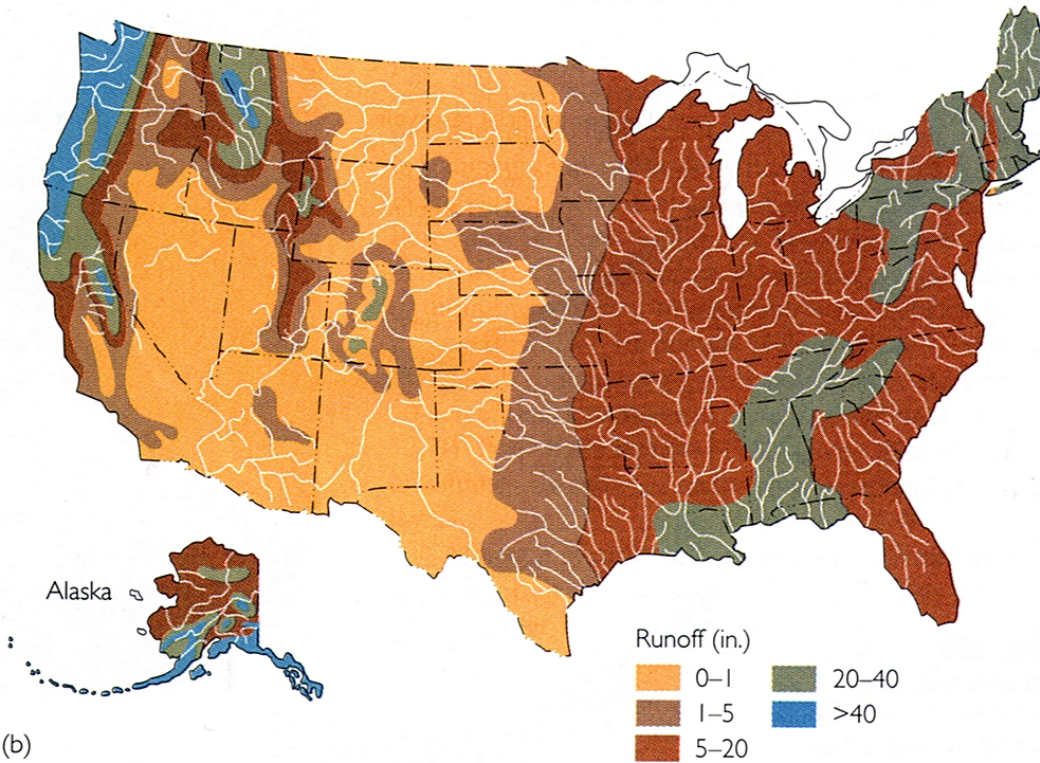
# Dónde ocurren los movimientos de masa?



- áreas con alta precipitación
- áreas con pendientes fuertes



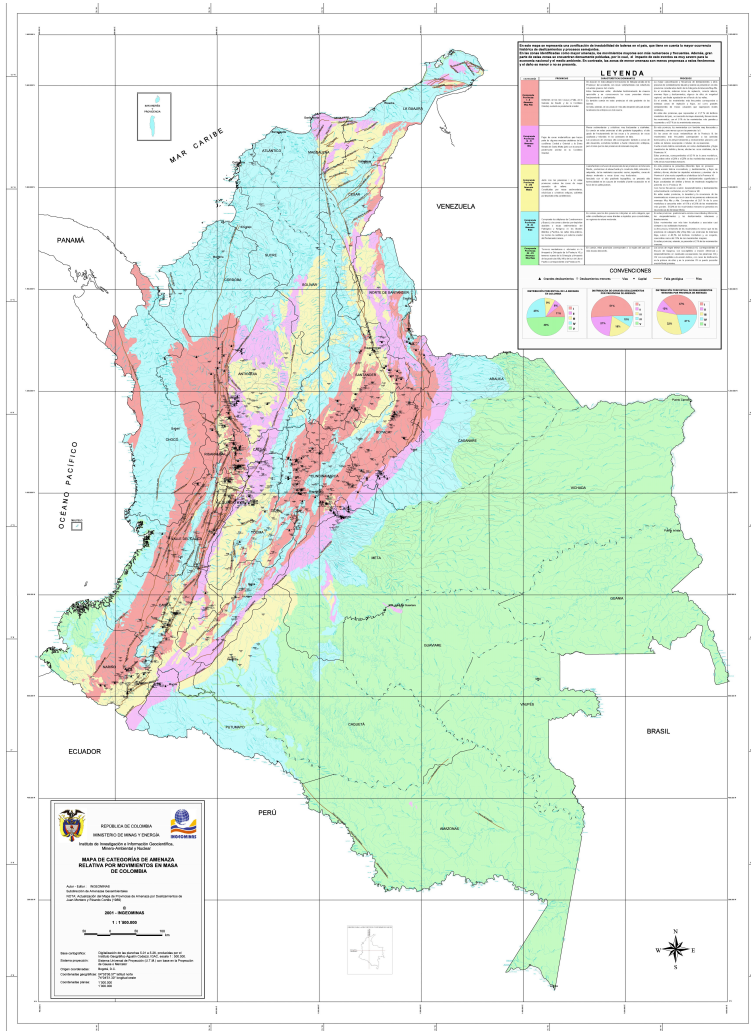
# Dónde ocurren los movimientos de masa?



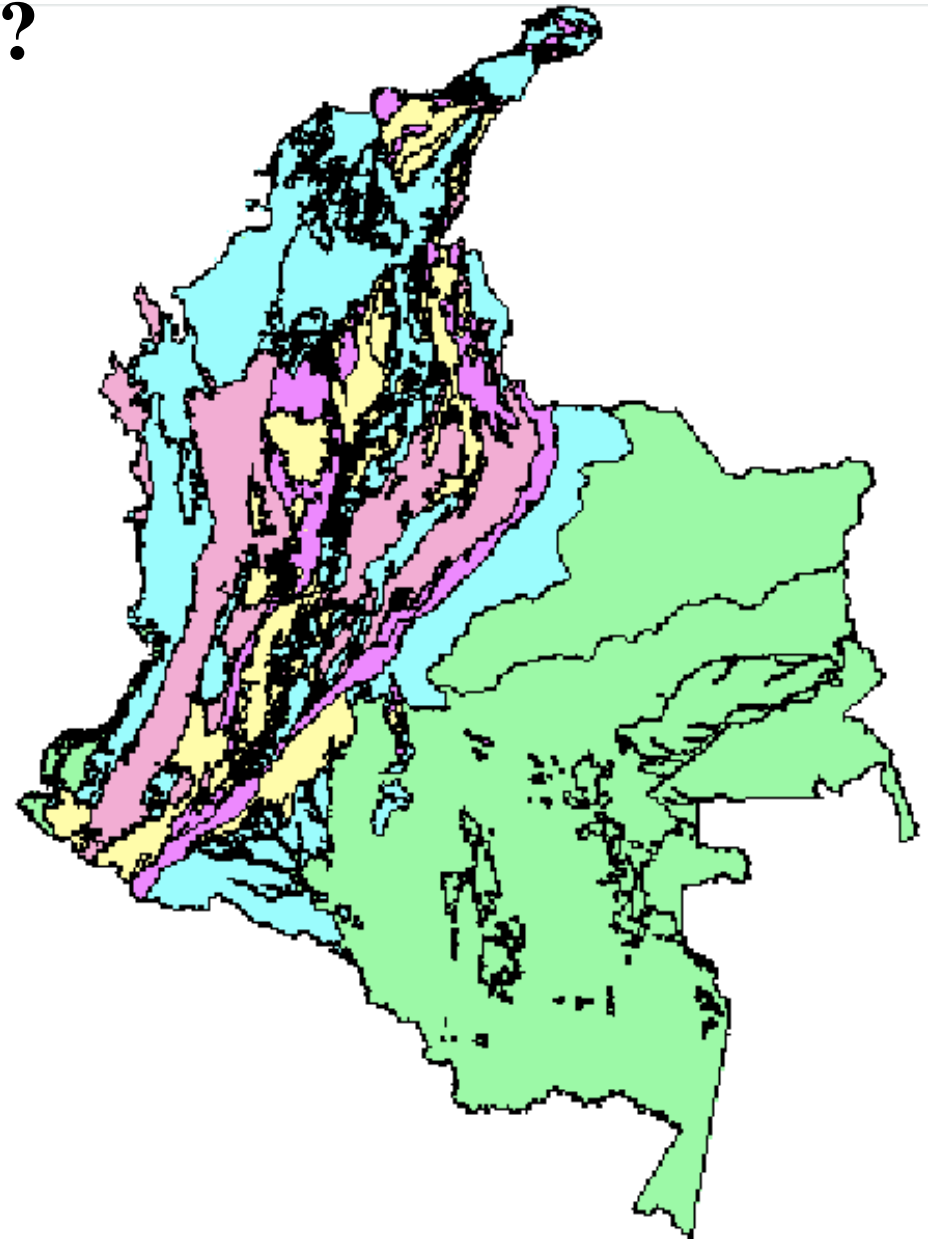
- áreas con alta precipitación
- áreas con pendientes fuertes
- áreas con fuerte afluencia de vertientes
- grandes ríos con meandros



# Dónde ocurren los movimientos de masa?

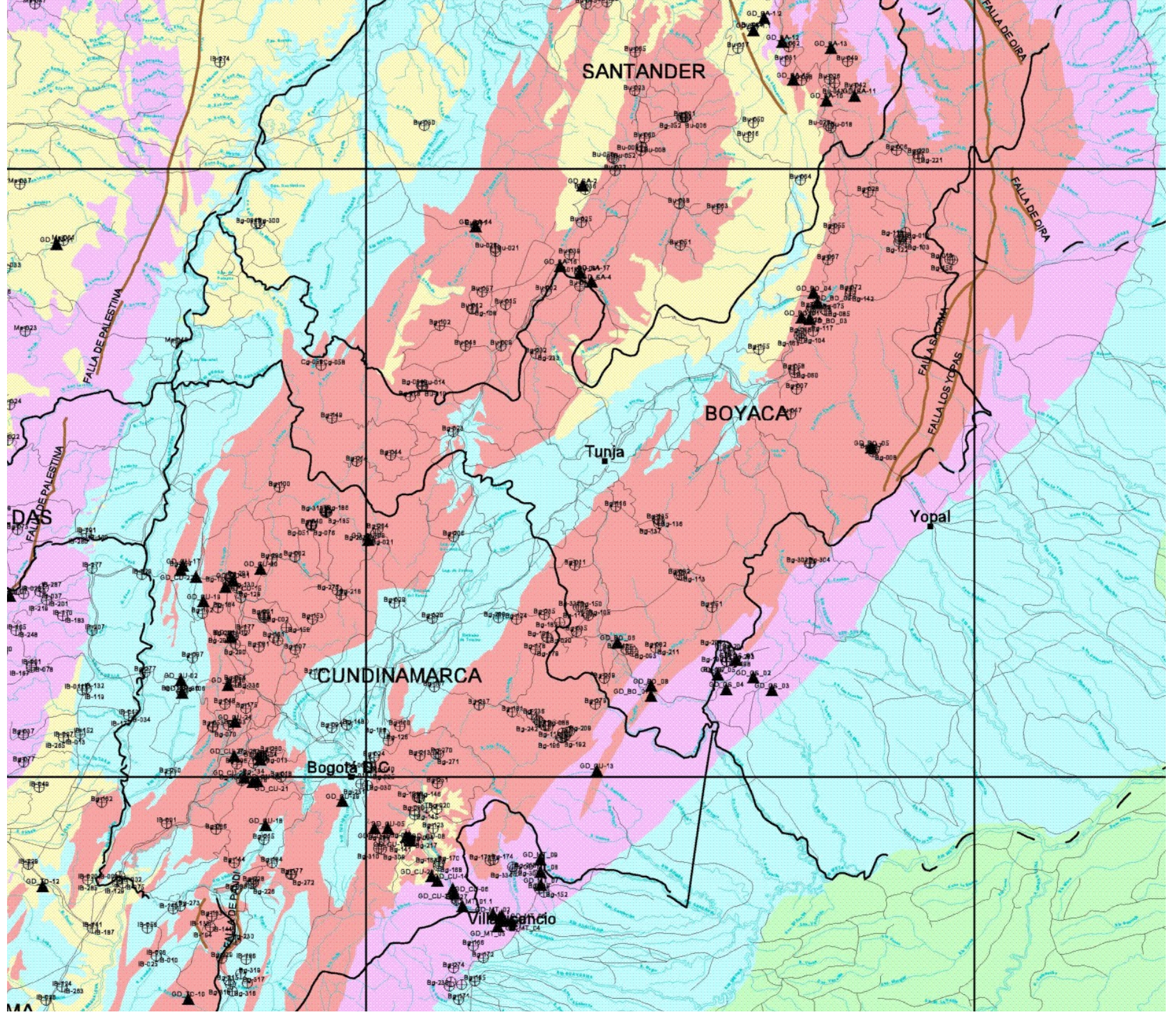


masa?



- áreas con alta precipitación
- áreas con pendientes fuertes
- áreas con fuerte afluencia de vertientes
- grandes ríos con meandros







# Definición

## Inestabilidad gravitacional

movimiento de rocas, suelo, substrato, o regolito cuesta abajo bajo el efecto de la fuerza de gravedad.



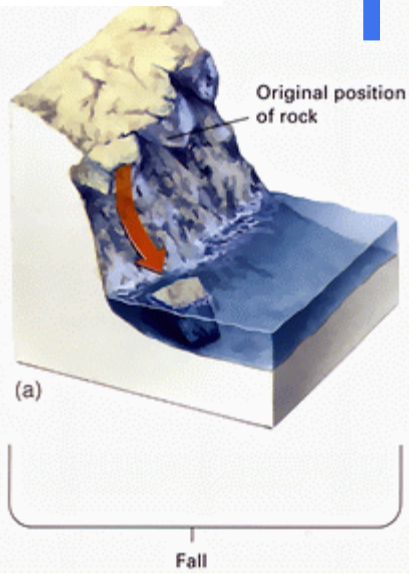
# Clasificación

	Lento			Rápido
	<1cm/a	1mm/día 1km/h	1-5 km/h	>4km/h
Flujo	reptación (creep)	tierra	lodo (escombros saturados de agua)	escombros avalancha de rocas
Deslizamiento		escombros rocas		
Caida				Caida de rocas caida de escombros
		avalancha de tierra		



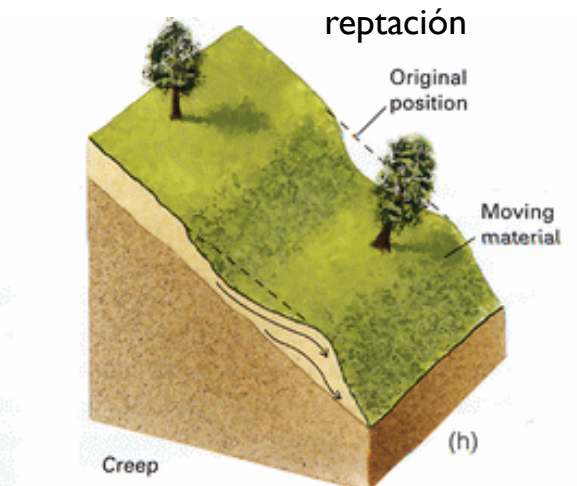
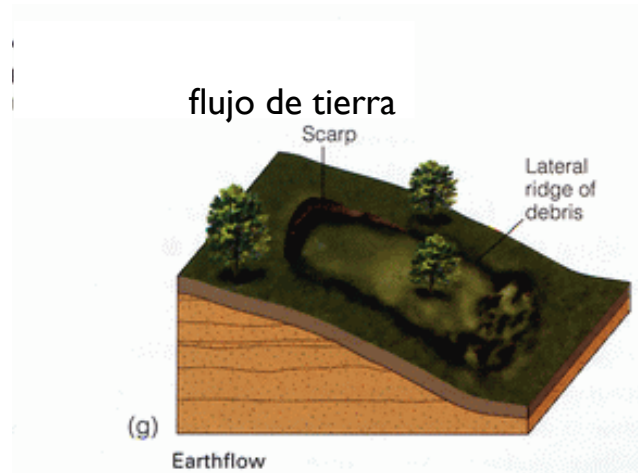
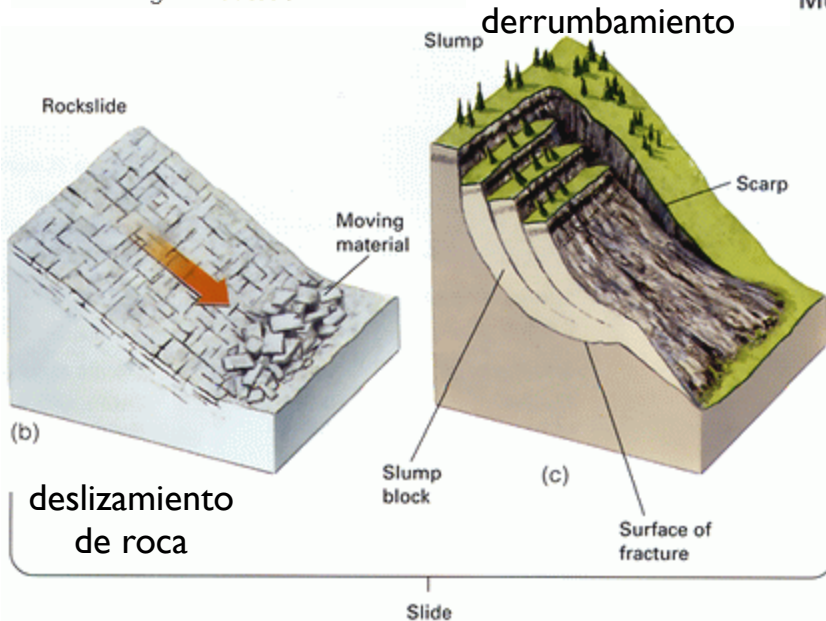
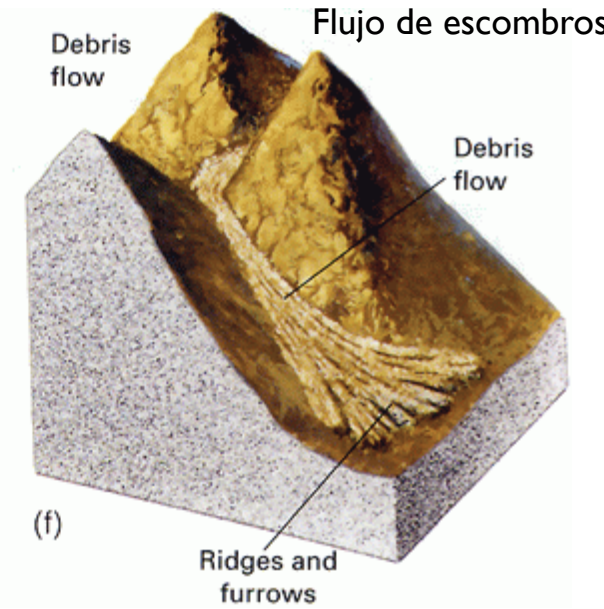
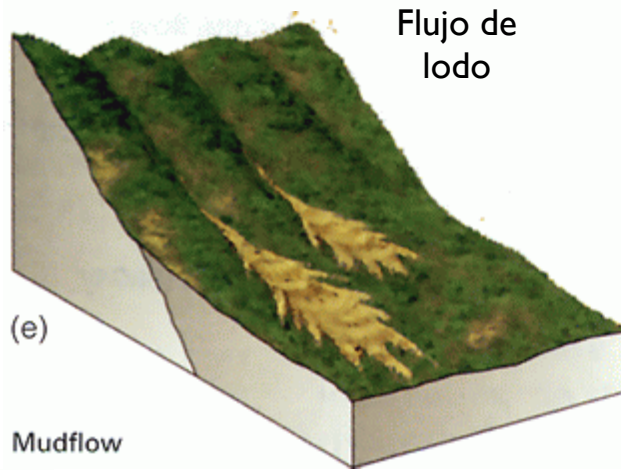
# Tipo de movimiento

Caida de roca



From *Earth Science and the Environment*, 3d ed., by G. R. Thomson and J. Turk, Fig. 10.25, p. 235. Copyright © 2005 Thomson Higher Education.

From *The Dynamic Earth: An Introduction to Physical Geology*, 3d ed., by B. J. Skinner and S. C. Porter, Fig. 8.9, p. 232. Copyright © 1995 John Wiley & Sons, Inc.

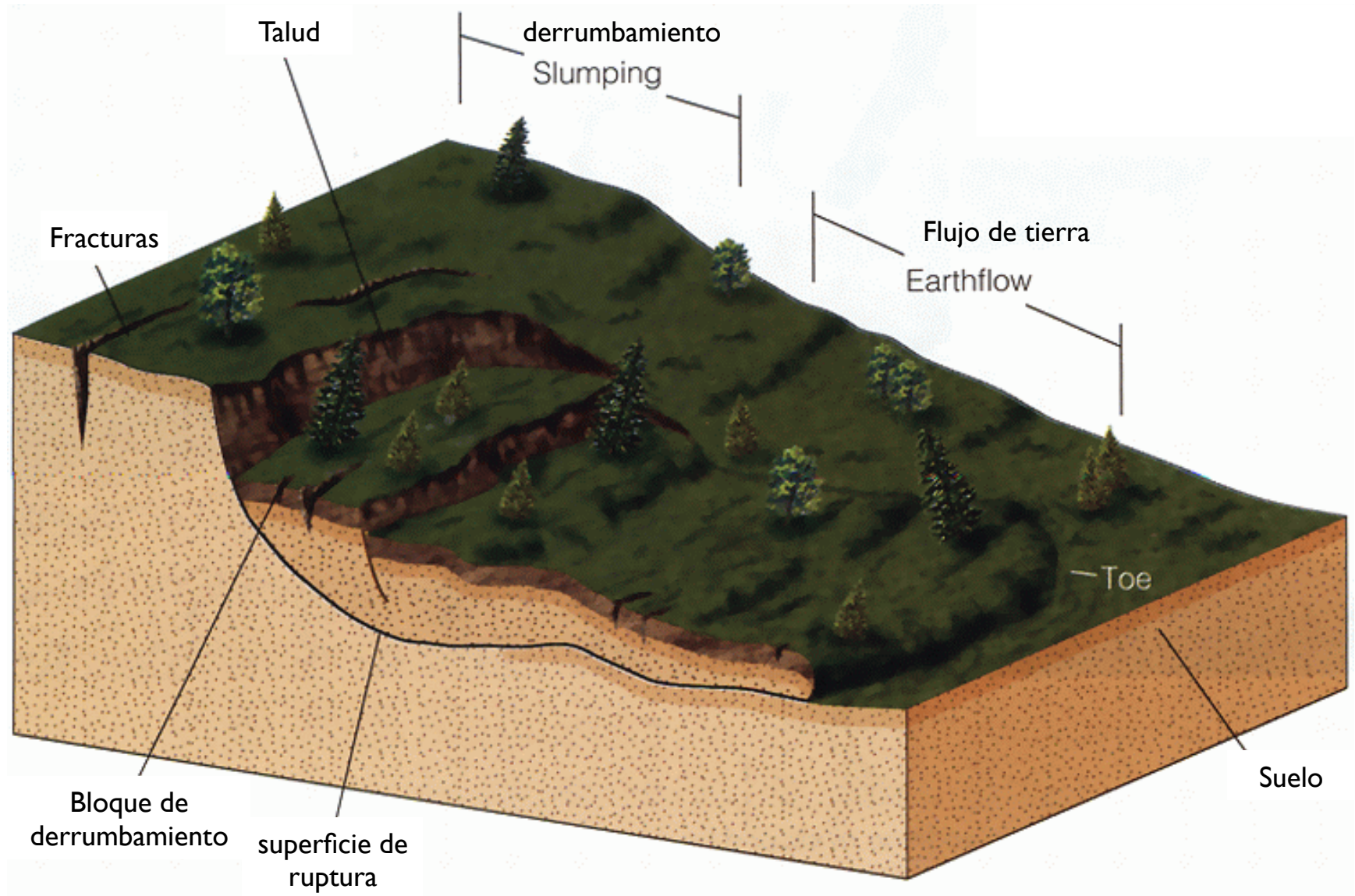


From *Physical Geology: Exploring the Earth*, 5th ed., by J. S. Monroe and R. Wicander, Fig. 14.19, p. 418. Copyright © 2005 Thomson Higher Education.

From *Earth Science and the Environment*, 3d ed., by G. R. Thomson and J. Turk, Fig. 10.25, p. 235. Copyright © 2005 Thomson Higher Education.

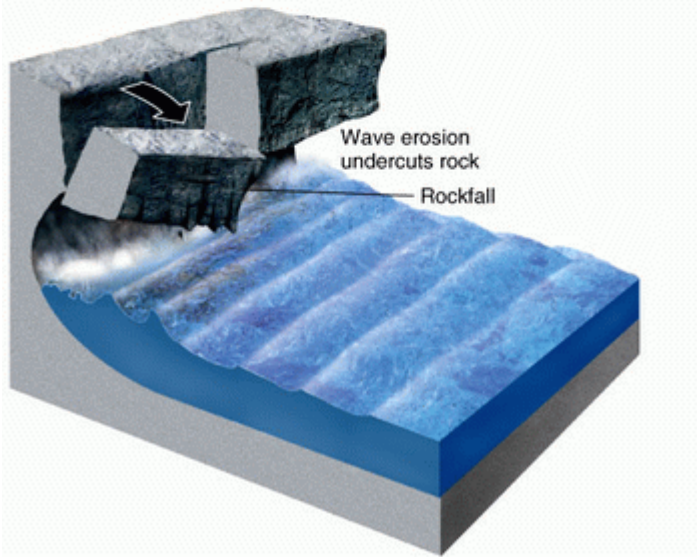
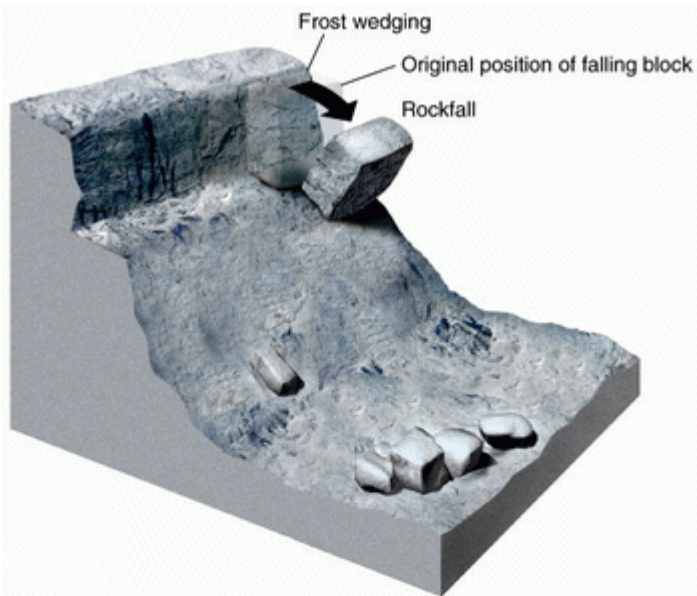
Flow

# Movimiento complejo





# Caída de rocas



Copyright © McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Velocidad: muy rápida  
material: regolito  
movimiento: caída libre



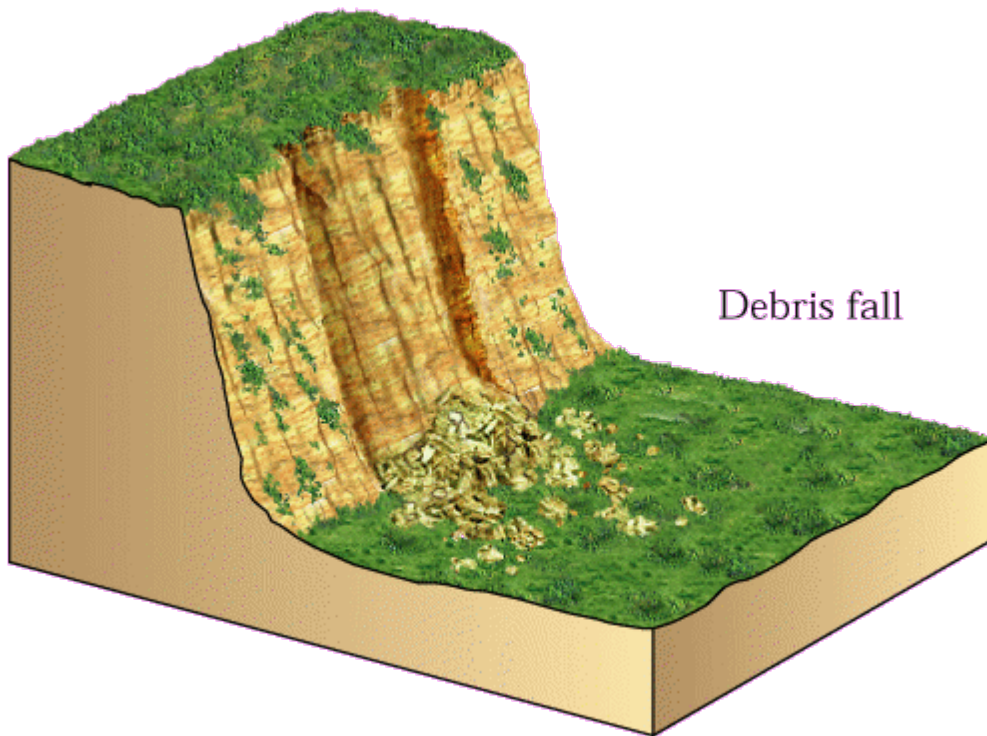


# Caída de escombros

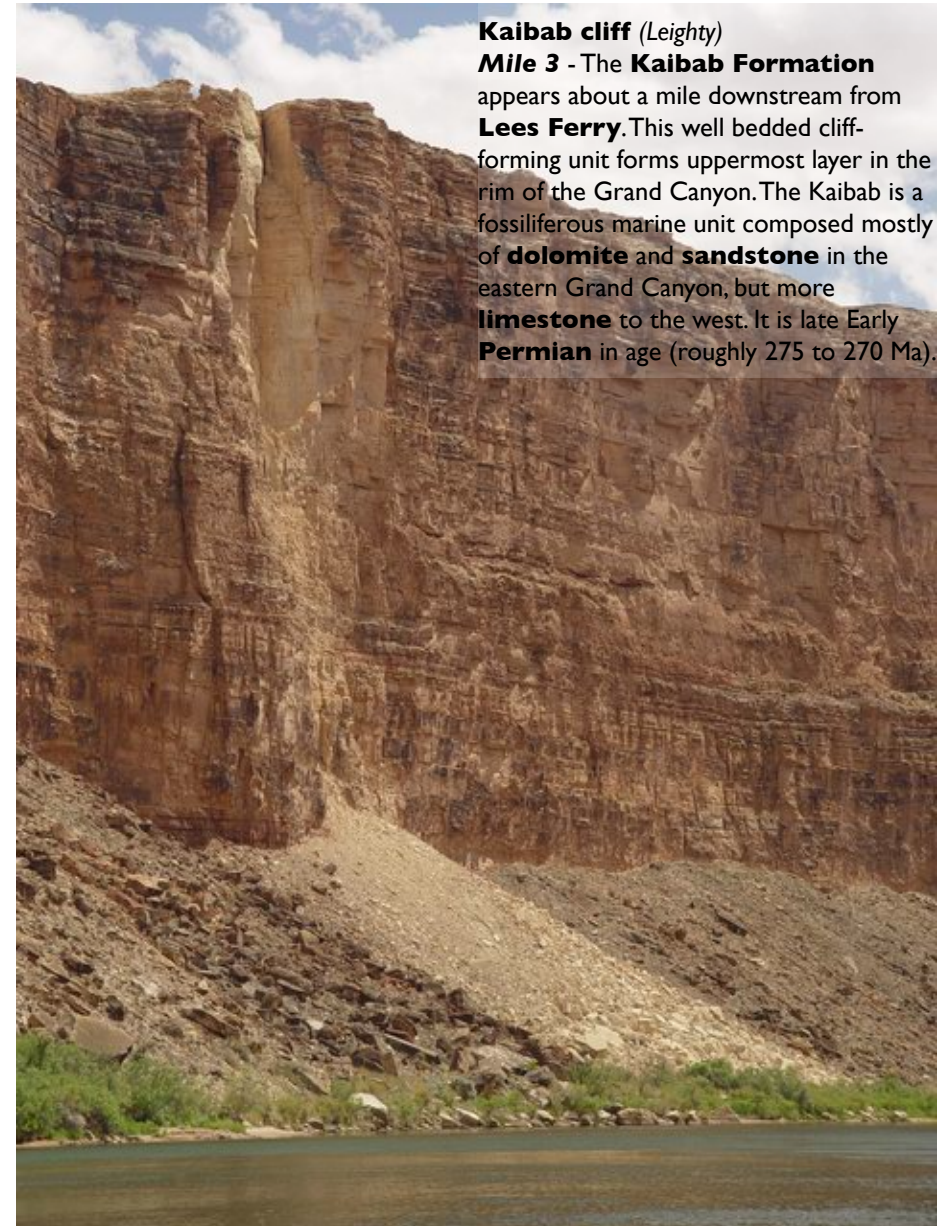
Velocidad: muy rápida

material: regolito

movimiento: caída en el espacio



Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.



**Kaibab cliff** (*Leighty*)

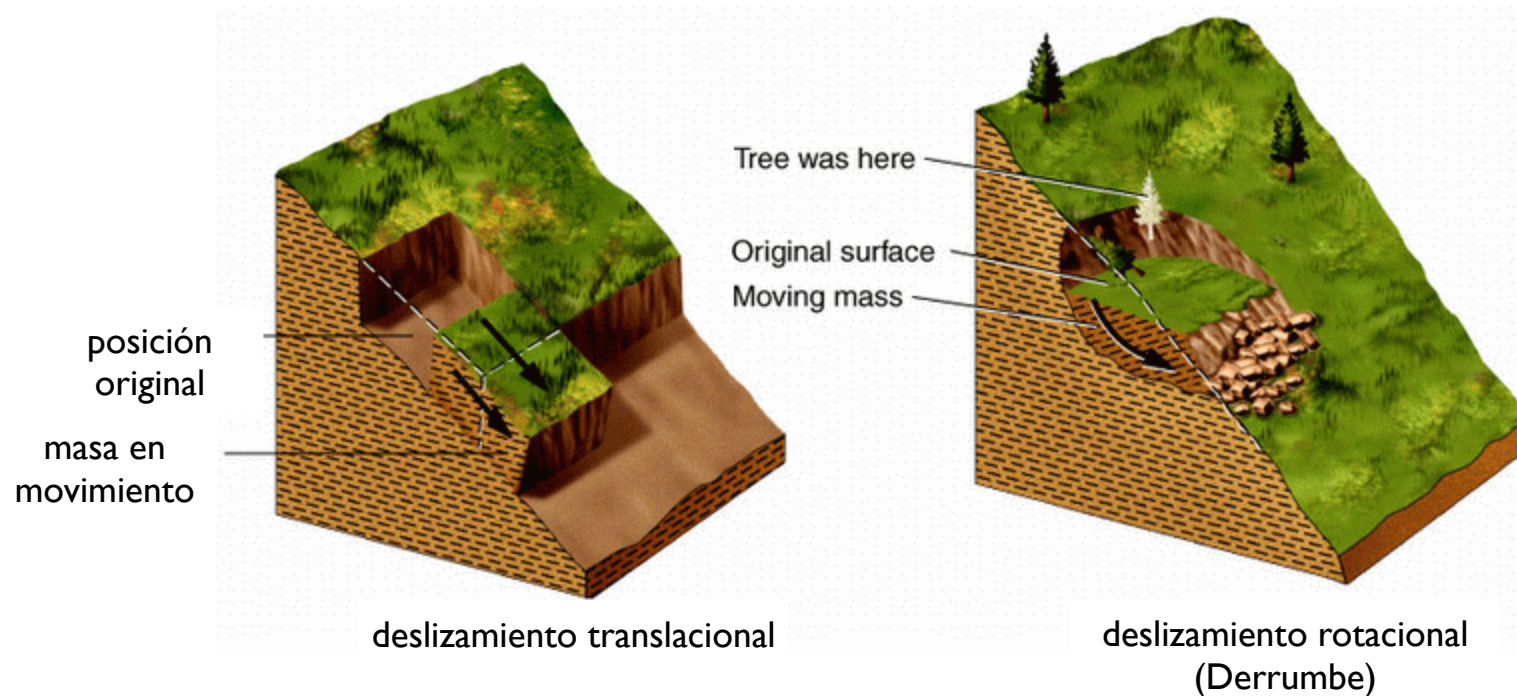
**Mile 3** - The **Kaibab Formation** appears about a mile downstream from **Lees Ferry**. This well bedded cliff-forming unit forms uppermost layer in the rim of the Grand Canyon. The Kaibab is a fossiliferous marine unit composed mostly of **dolomite** and **sandstone** in the eastern Grand Canyon, but more **limestone** to the west. It is late Early **Permian** in age (roughly 275 to 270 Ma).

# Deslizamientos

Velocidad: de lenta a muy rápida

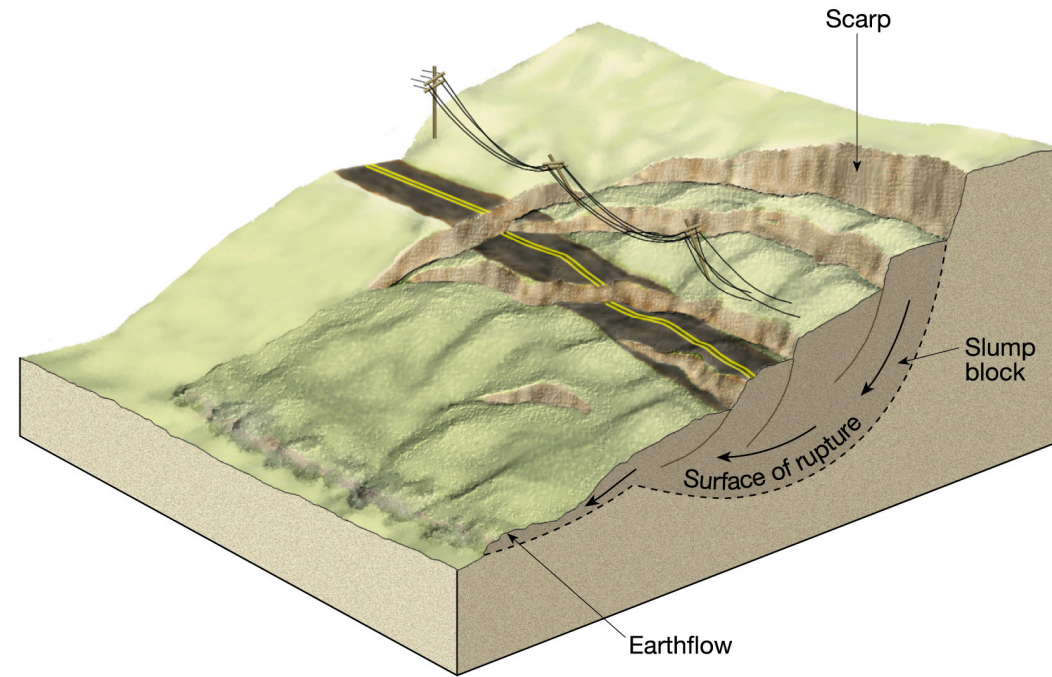
material: masas grandes de roca y escombros

movimiento: en bloque





# Deslizamientos (derrumbes)



Velocidad: de lenta a muy rápida (hasta 5kph)  
material: clastos no consolidados  
movimiento: como una unidad en un plano curvo



# Deslizamiento translacional



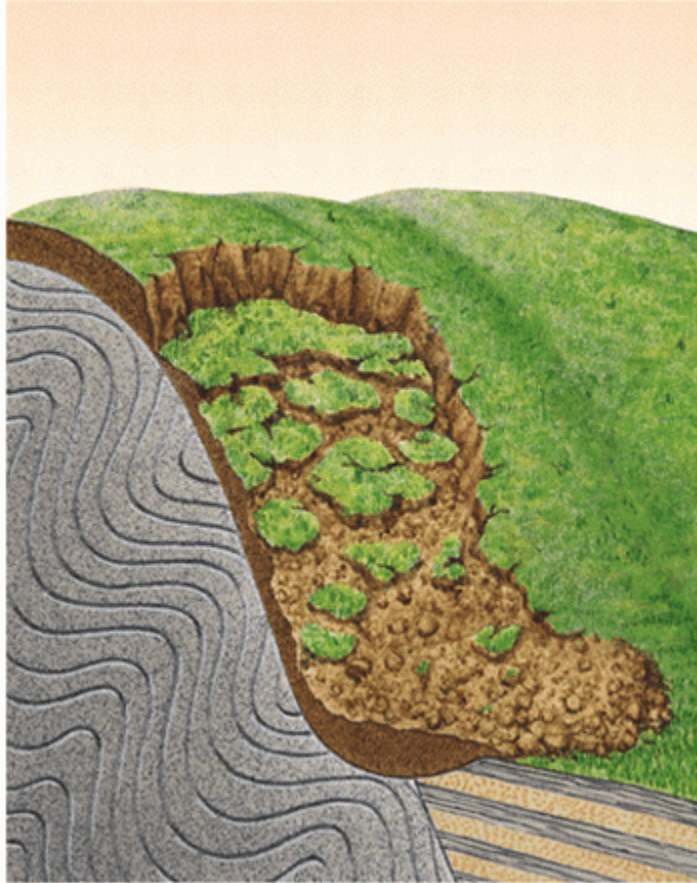
Velocidad: de lenta a muy rápida (hasta 5kph)

material: basamento

movimiento: como unidades laminares



# Deslizamiento translacional



Velocidad: de lenta a muy rápida (hasta 5kph)  
material: Suelo no-consolidado y regolito  
movimiento: como unidades laminares

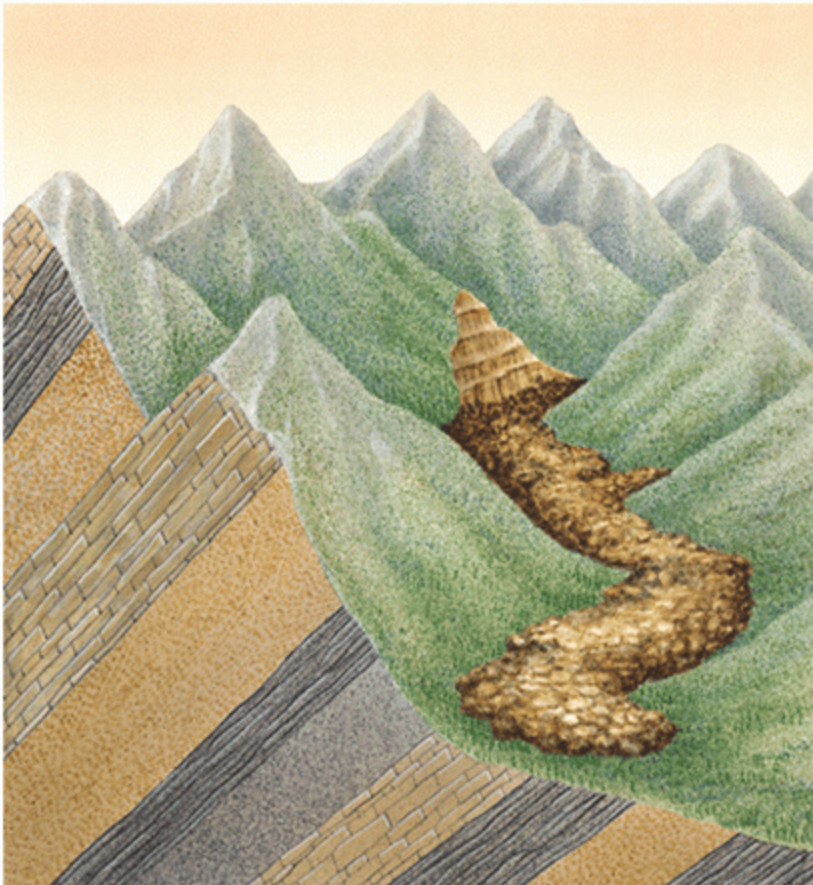


# Flujo de rocas

Velocidad: rápida ( $>4\text{kph}$ )

material: basamento no consolidado

movimiento: como masa canalizada





# Flujo de escombros



Velocidad: rápida ( $>4\text{kph}$ )  
material: regolito no-consolidado  
(mas grueso que arena)  
movimiento: flujo canalizado



# Flujos de lodo

Velocidad: rápida (1-5kph)

material: escombros saturados de agua

movimiento: flujo canalizado



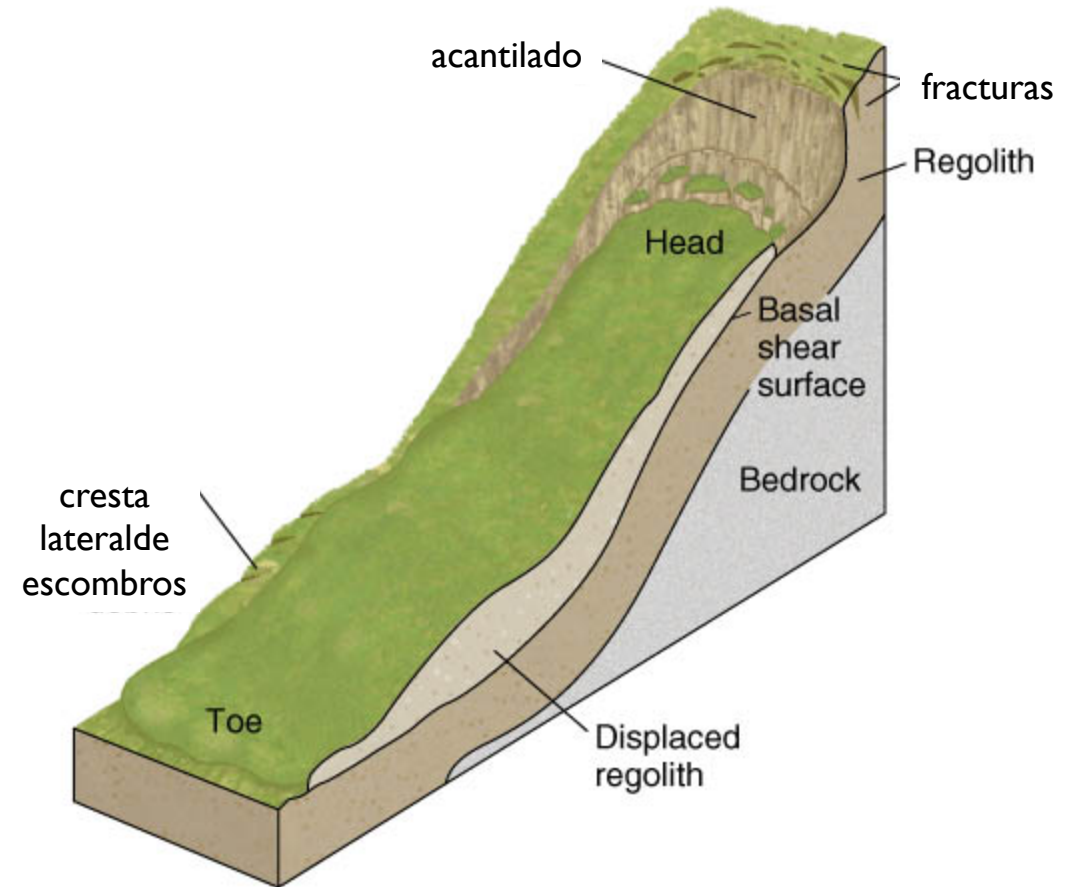
Copyright © McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Photo by C. C. Plummer



# flujos de tierra



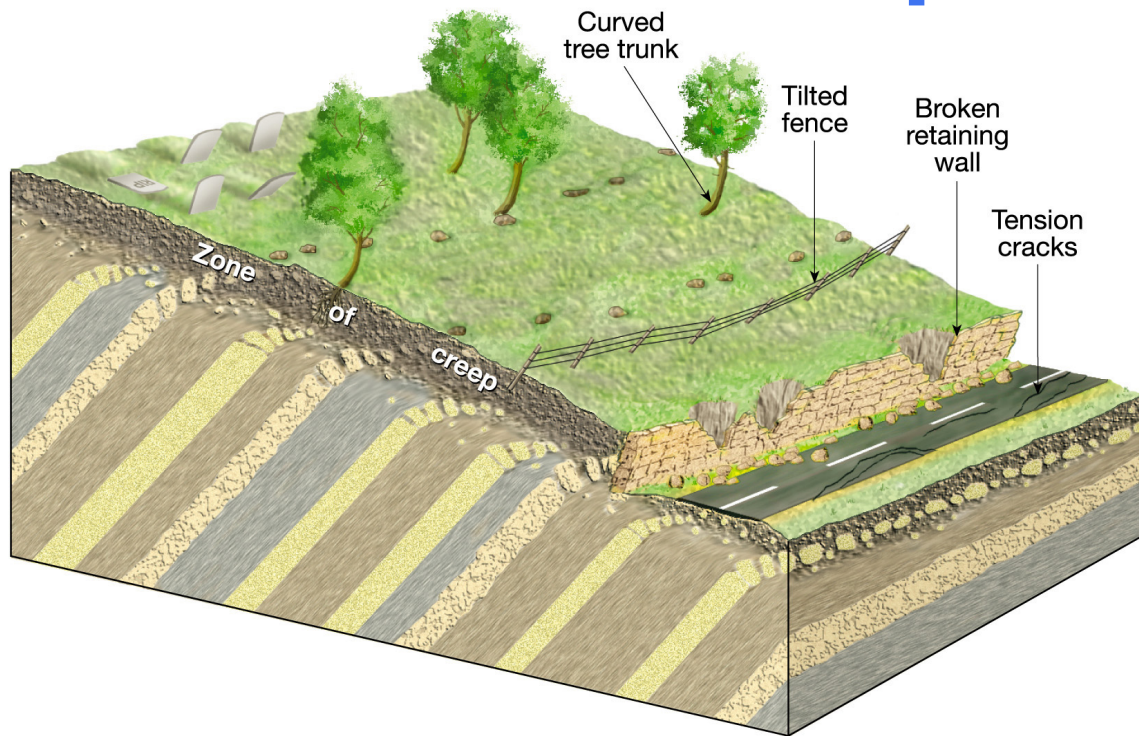
Velocidad: lenta (1mm/dia hasta 1kph)

material: de limo a arena fina

movimiento: canalizado



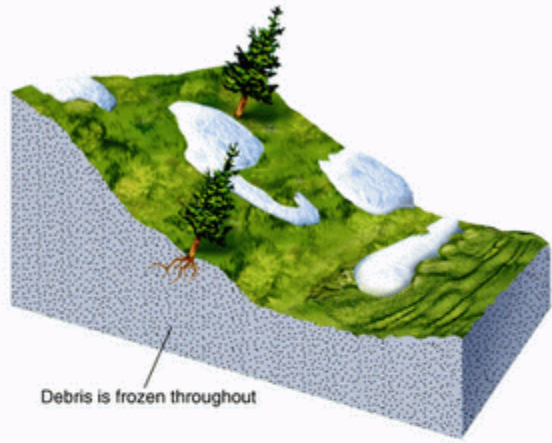
# Reptación



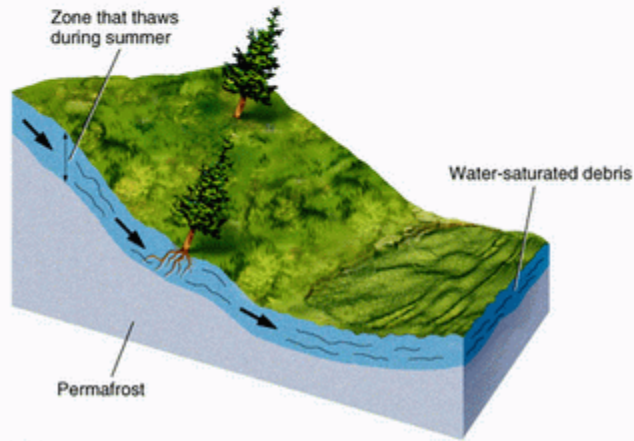
Velocidad: muy lenta ( $< 1 \text{ cm/año}$ )  
material: regolito no consolidado  
movimiento: translación



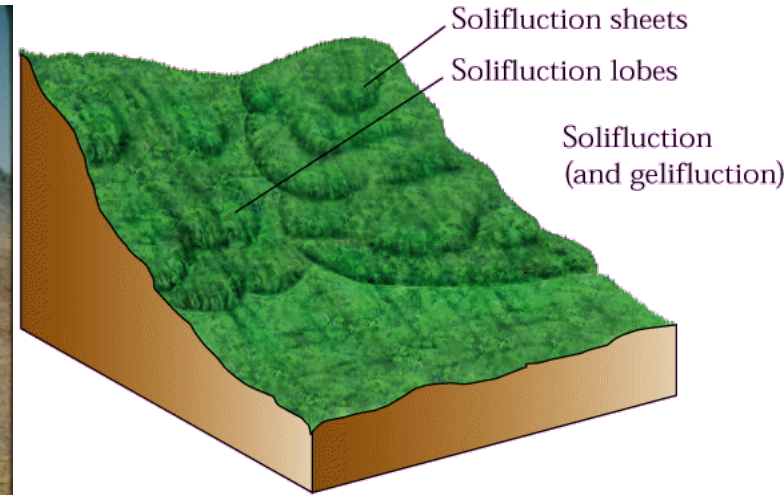
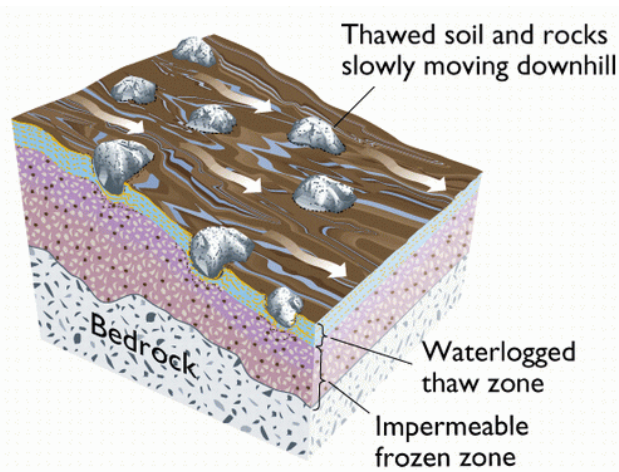
# Solifluxión (flujo)



A Winter



B Summer



Copyright 1999 John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

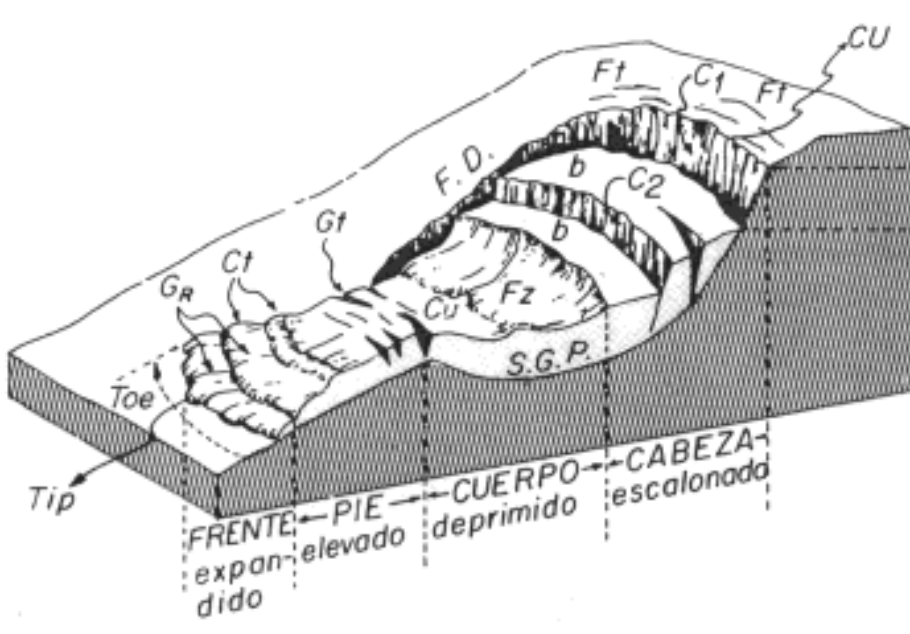
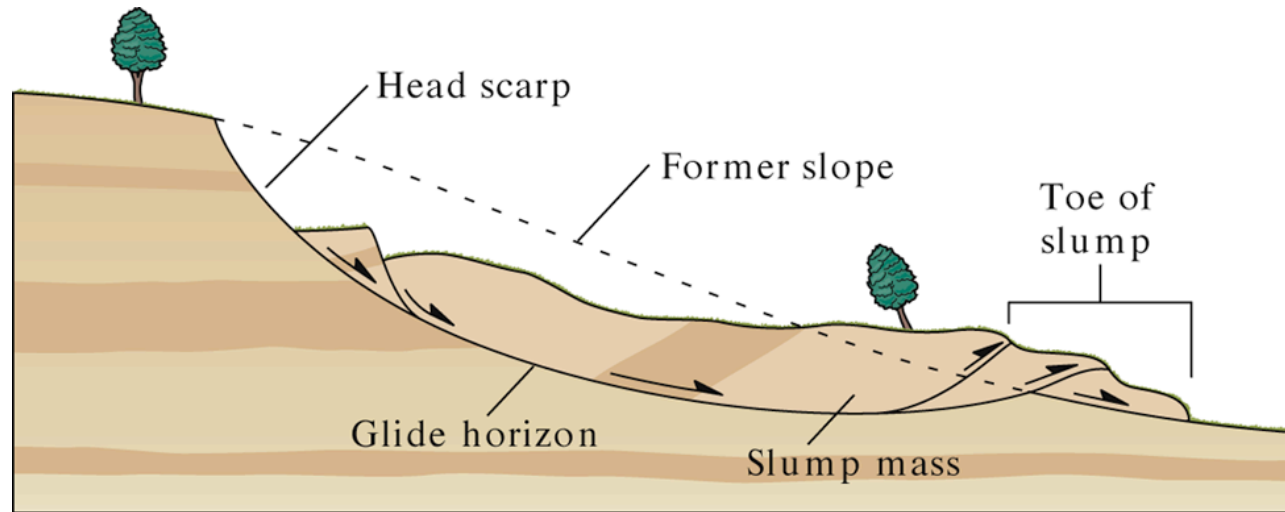
Velocidad: muy lenta

material: escombros saturados de agua

movimiento: translación irregular con deshielo



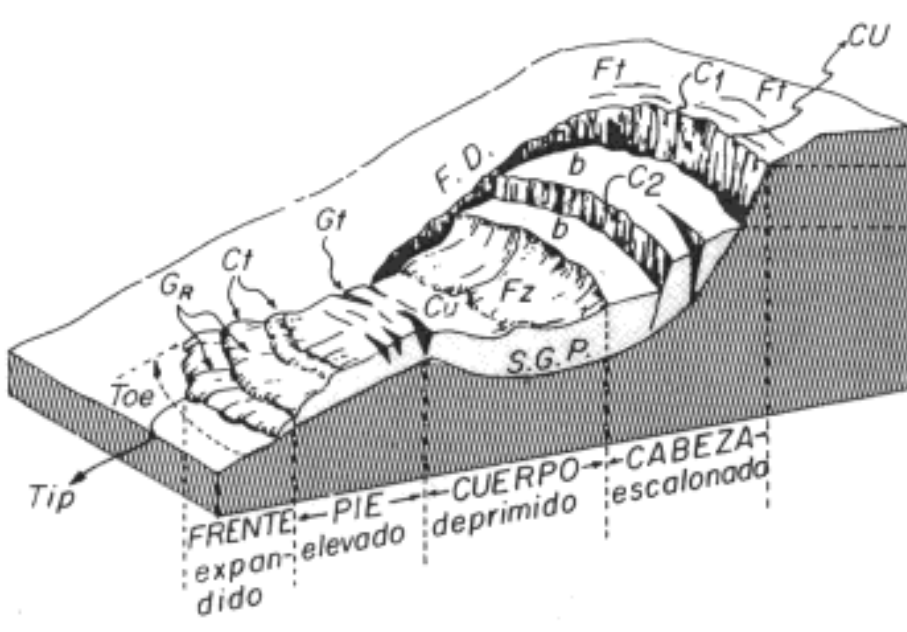
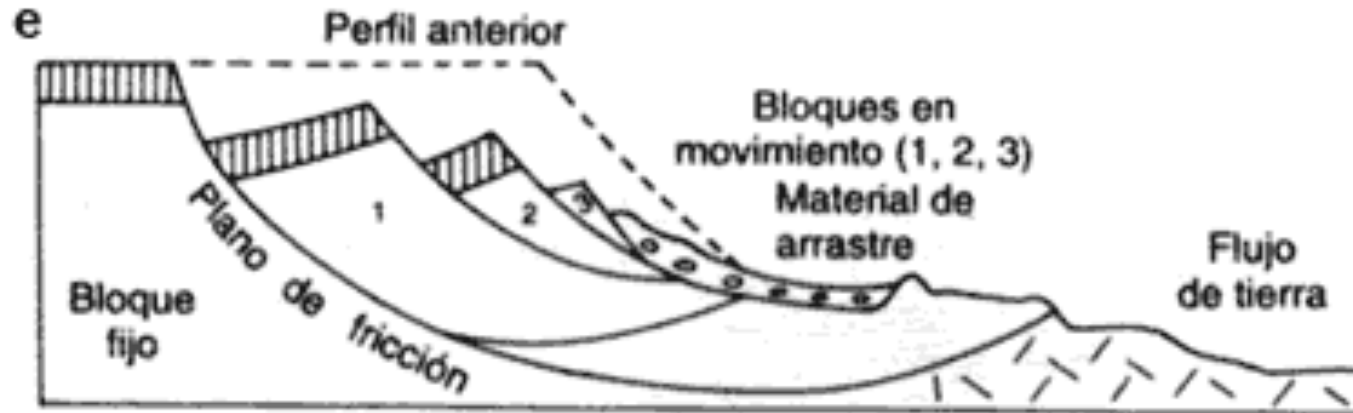
# Características fundamentales de falla de pendientes



- Deslizamientos/ Derrumbes  
**SLIDES/SLUMPS**  
todos los tamaños, velocidades mm/día  
a m/min
- Escarpe Cabeza/tear-away zone
- pie / zona de apilado
- horizonte de deslizamiento/ superficie de debilidad



# Características fundamentales de falla de pendientes



- Deslizamientos/ Derrumbes  
**SLIDES/SLUMPS**  
todos los tamaños, velocidades mm/día  
a m/min
- Escarpe Cabeza/tear-away zone
- pie / zona de apilado
- horizonte de deslizamiento/ superficie de debilidad



# Factores de control

## Factores físicos

Control	estabilidad	inestabilidad
ángulo de pendiente	pendientes bajas	pendientes altas o verticales
Relieve local	relieve bajo	relieve alto
Grosor de escombros y suelo sobre el basamento	delgado	grueso
orientación de planos de debilidad del basamento	planos de debilidad preperpendiculares a la pendiente	planos de debilidad paralelos a la pendiente



# Factores de control

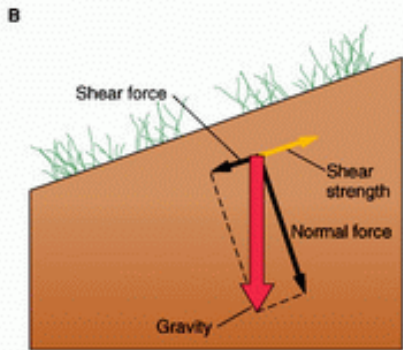
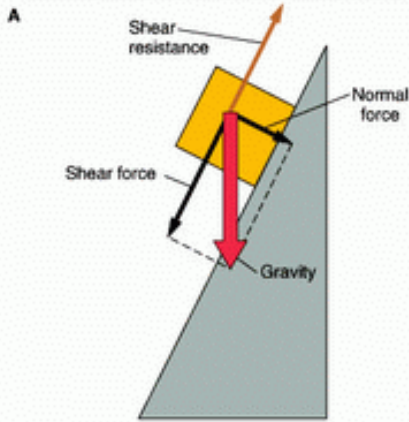
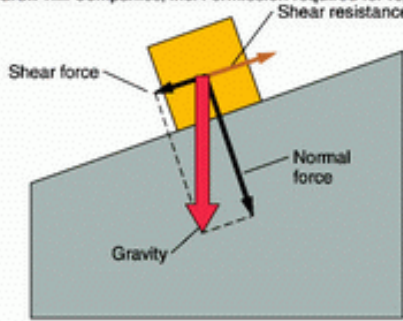
## Factores climáticos

Control	estabilidad	inestabilidad
Hielo	temperatura por encima de 0°C	congelamiento y descongelamiento
Agua	películas de agua alrededor de partículas finas	saturación de escombros con agua
precipitación	frecuente pero ligera	periodos largos de sequía con episodios raros de precipitación fuerte
Vegetación	Abundante	escasa

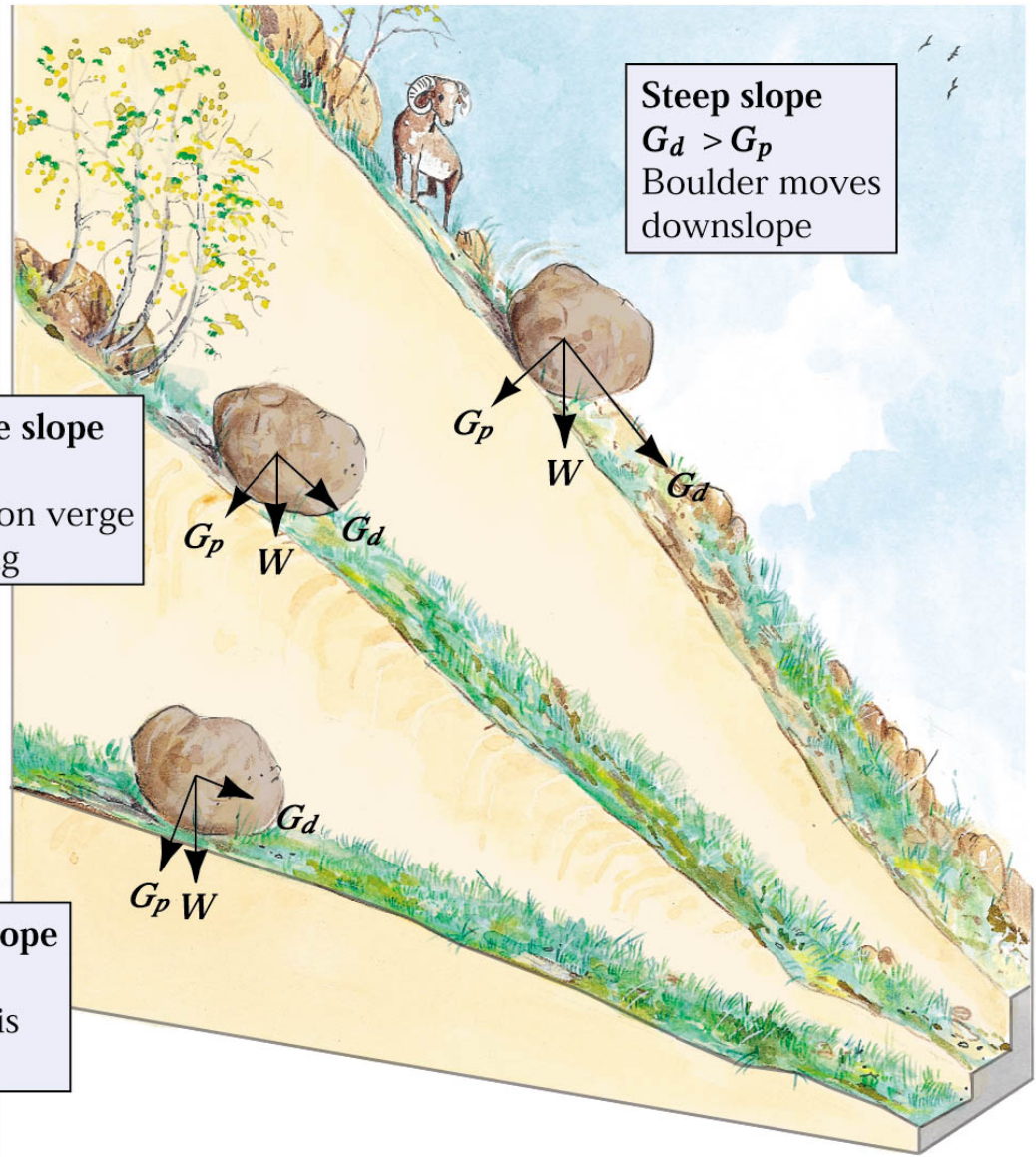


# Control: I. Pendiente

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



C



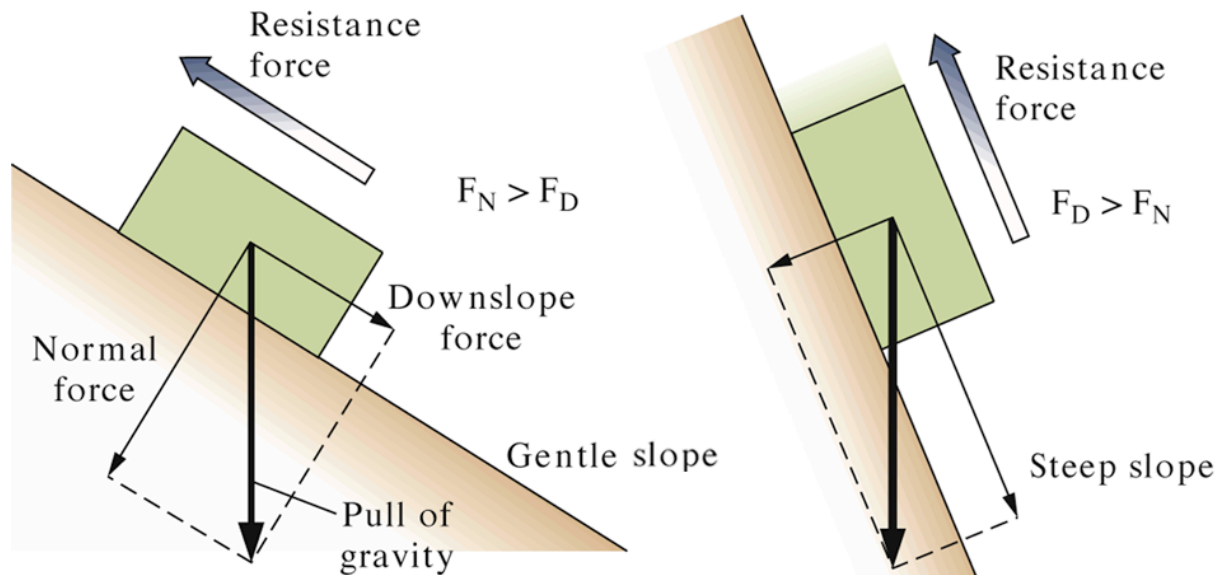
Steep slope  
 $G_d > G_p$   
Boulder moves  
downslope

Moderate slope  
 $G_d = G_p$   
Boulder on verge  
of moving

Gentle slope  
 $G_d < G_p$   
Boulder is  
stable

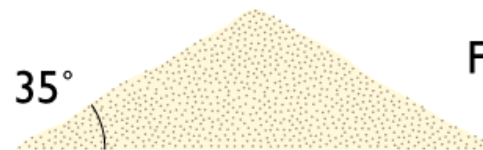
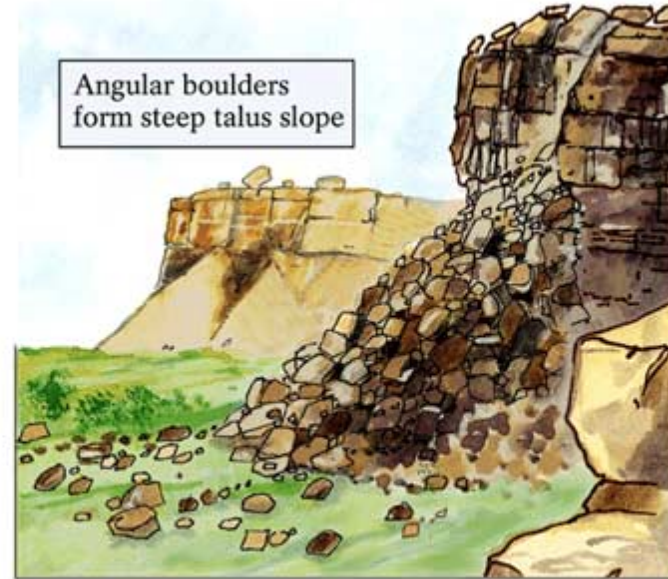
# El papel de la Gravedad

- gravedad hala hacia pendiente-abajo
- fuerza de resistencia debido a fricción
  - si  $F_N > F_D$ , la masa se queda quieta
  - lluvia, EQ pueden alterar balance

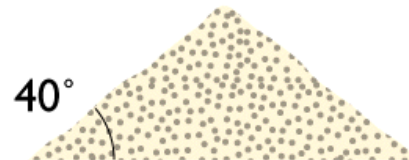




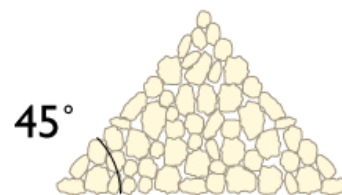
# Control: I. Pendiente



Fine sand



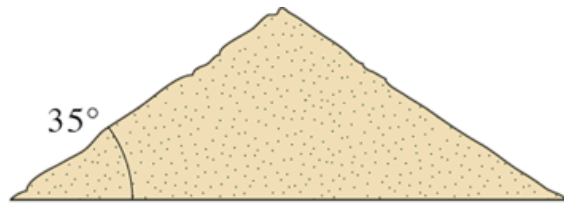
Coarse sand



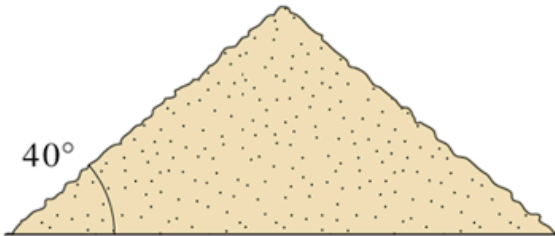
Angular pebbles

(a)

# Ángulo de Reposo



Fine sand



Coarse sand



Angular pebbles

- máximo ángulo que un montón puede mantener sin disintegrarse
- depende de propiedades de los granos



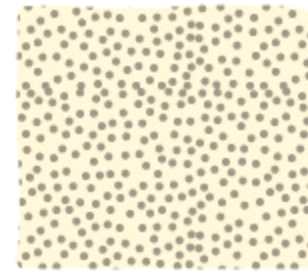
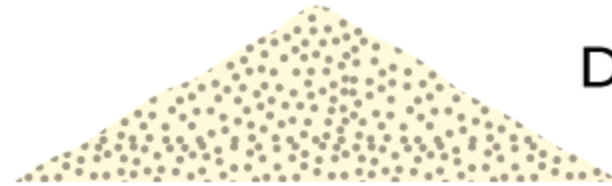
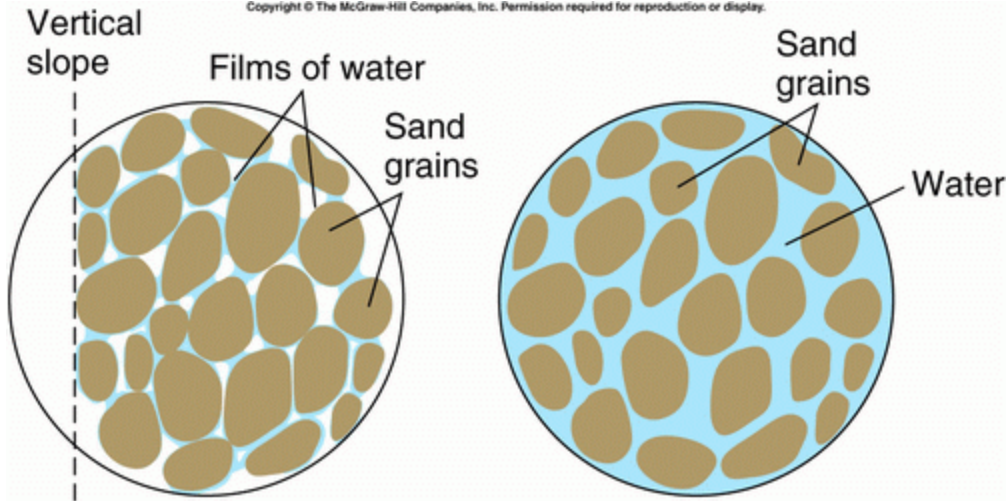
Sunset Crater, AZ

Photo: [volcano.und.edu](http://volcano.und.edu)

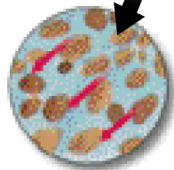
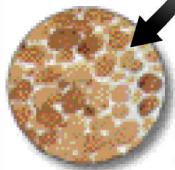


# Control: 2.Agua

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



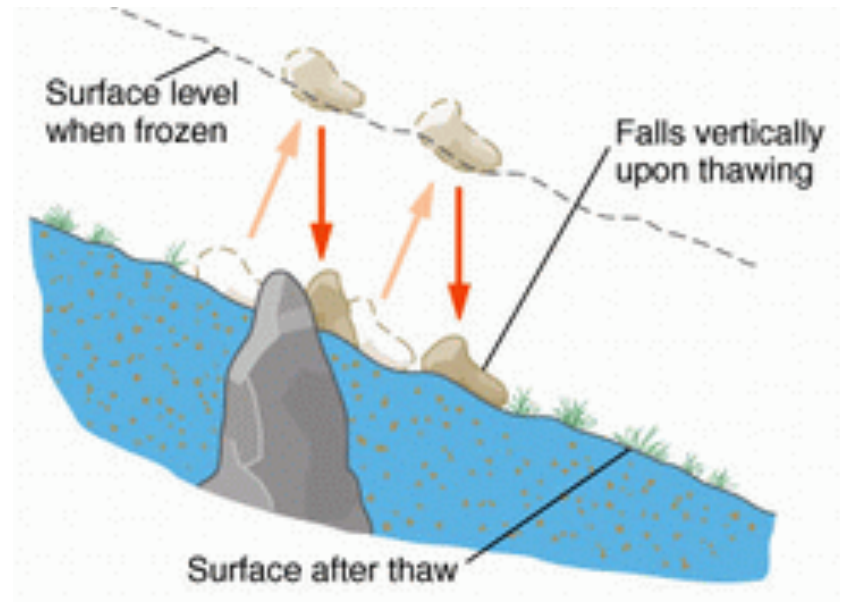
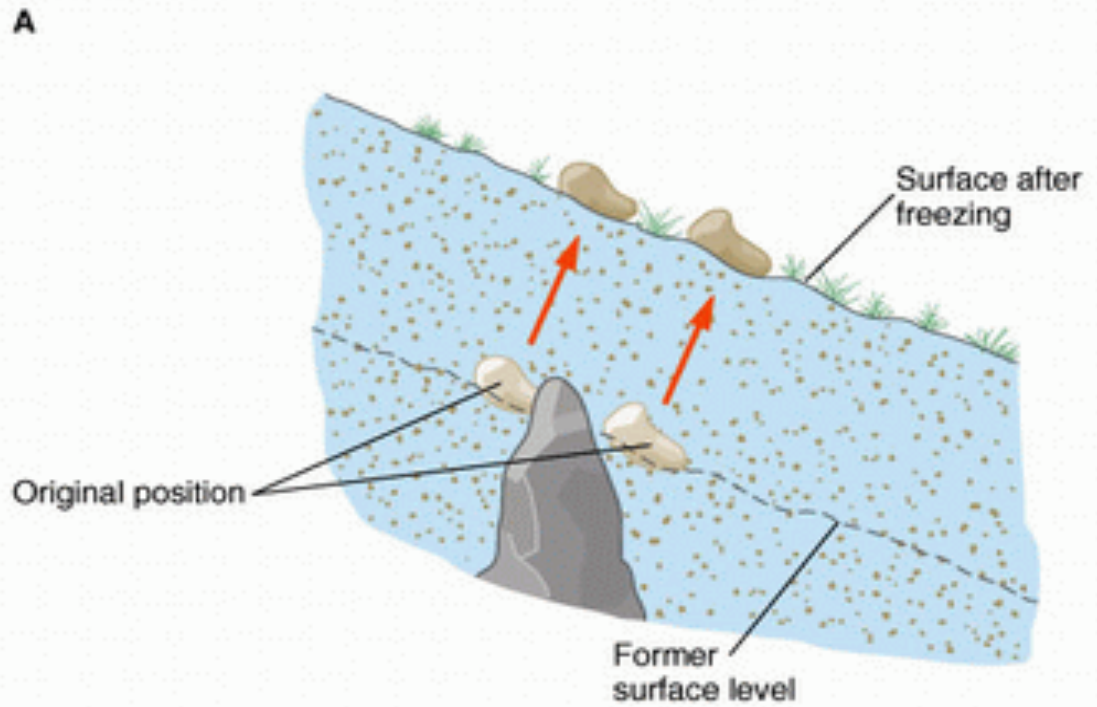
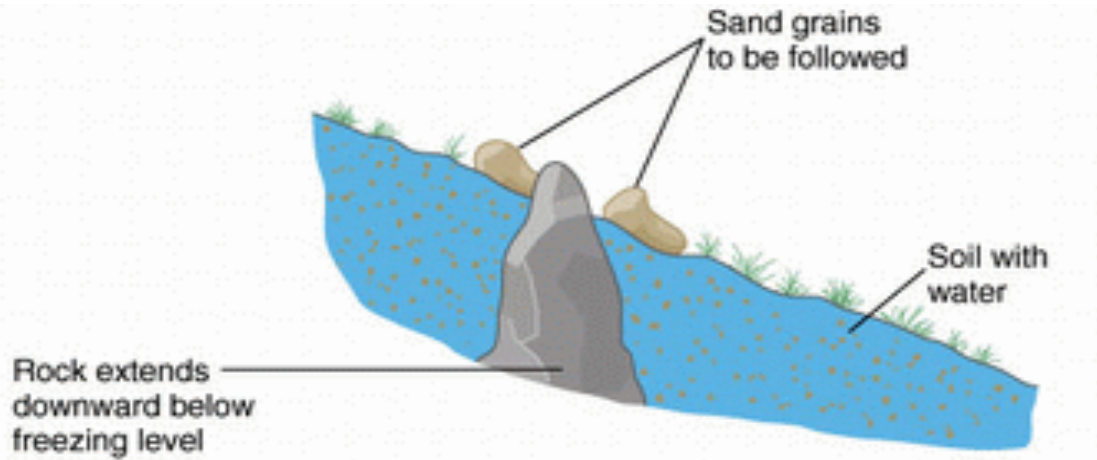
(b)



Stable when dry

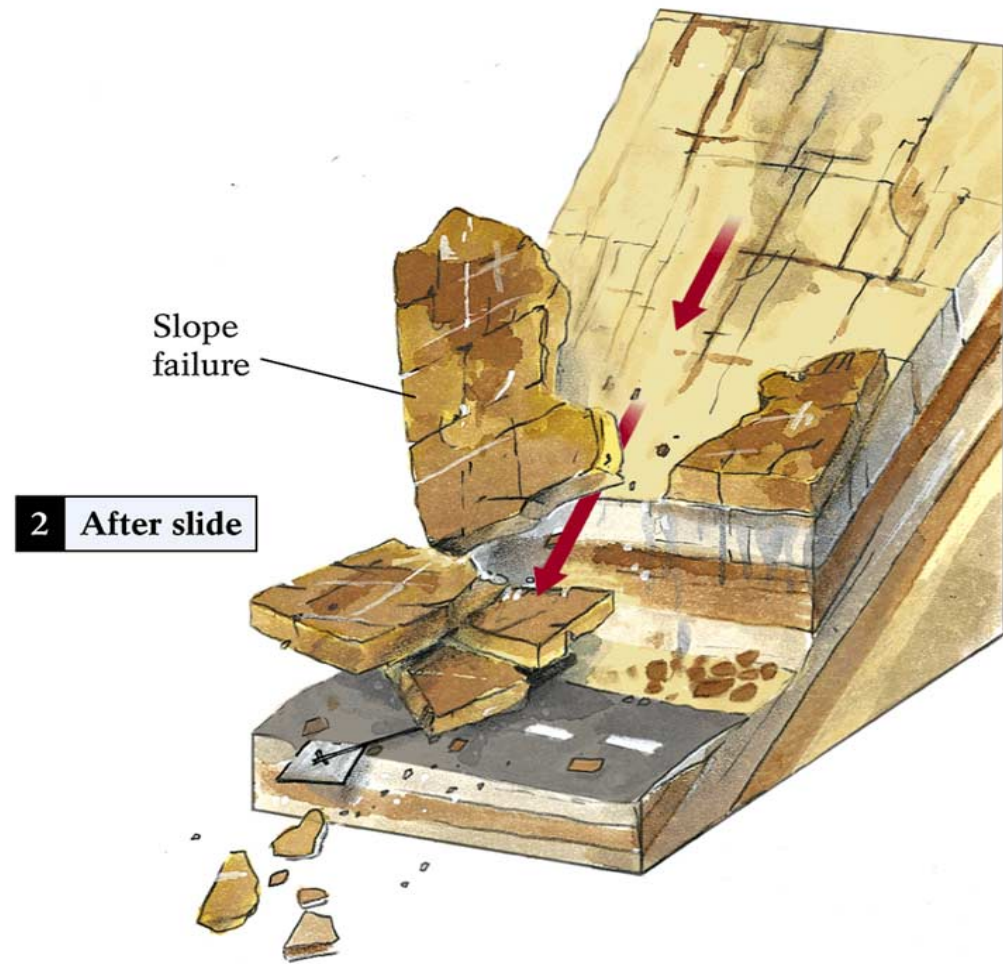
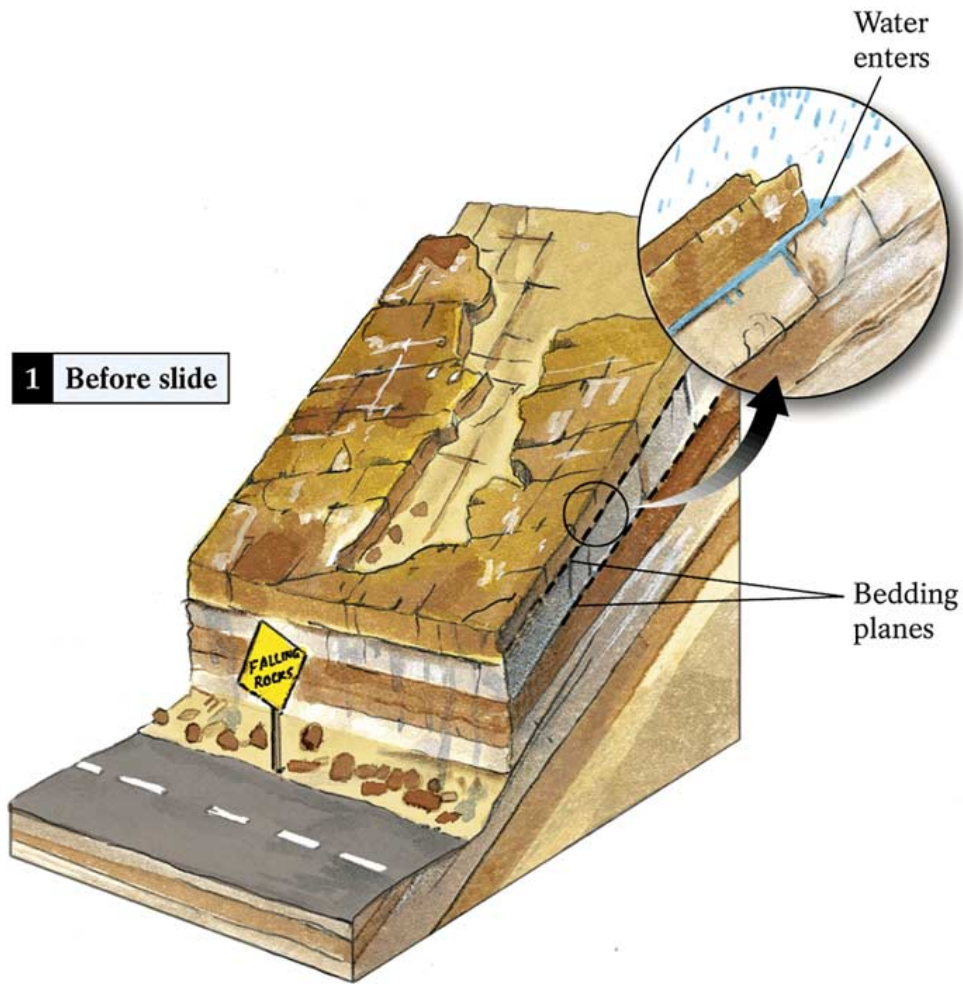
Slope fails when saturated

# Control: 2. Agua



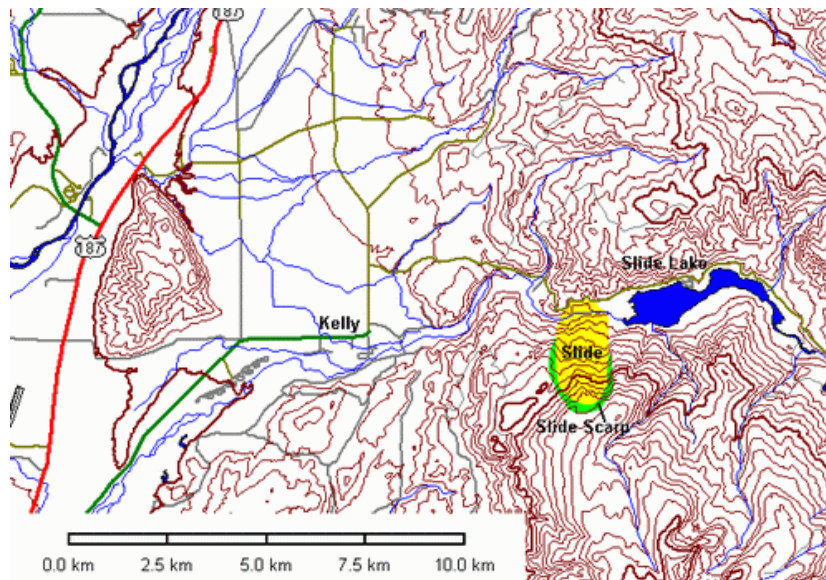
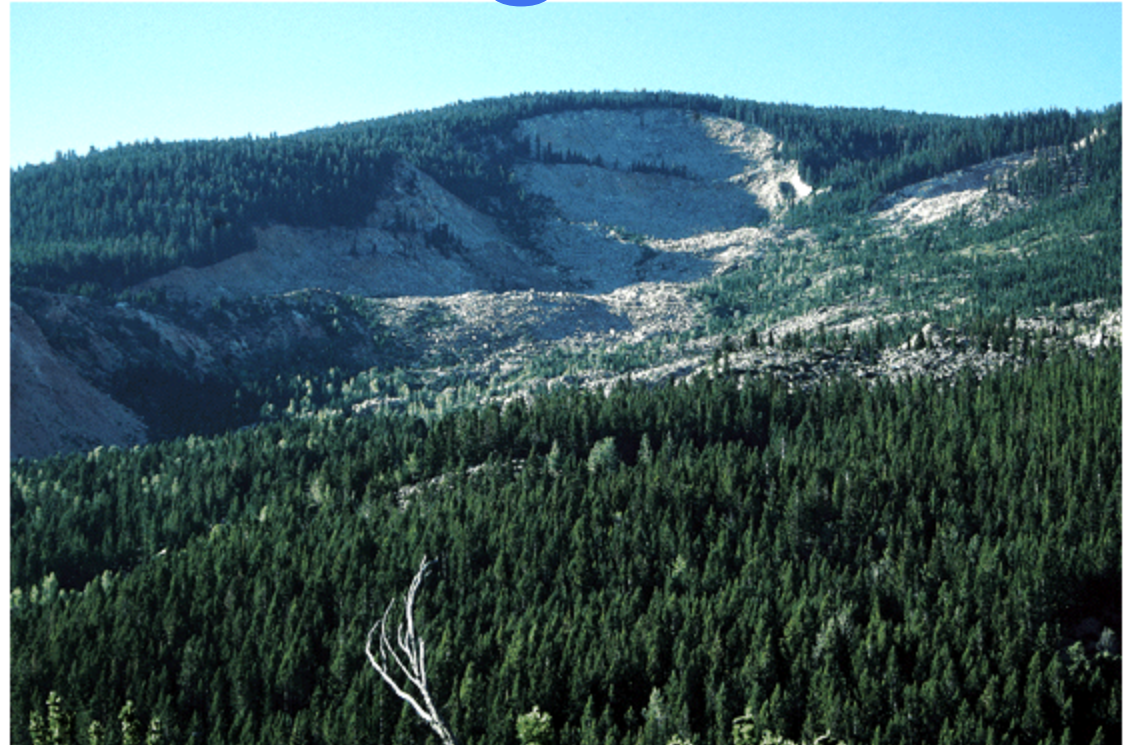
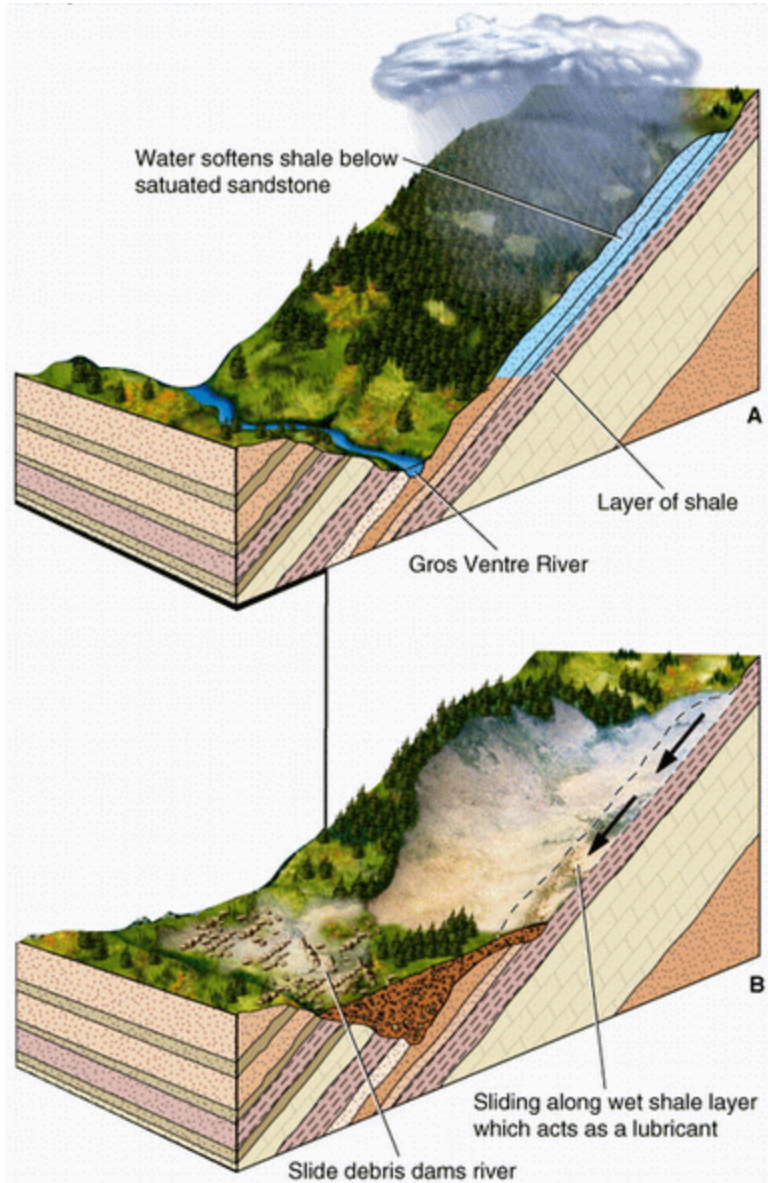


# Control: 2. Agua



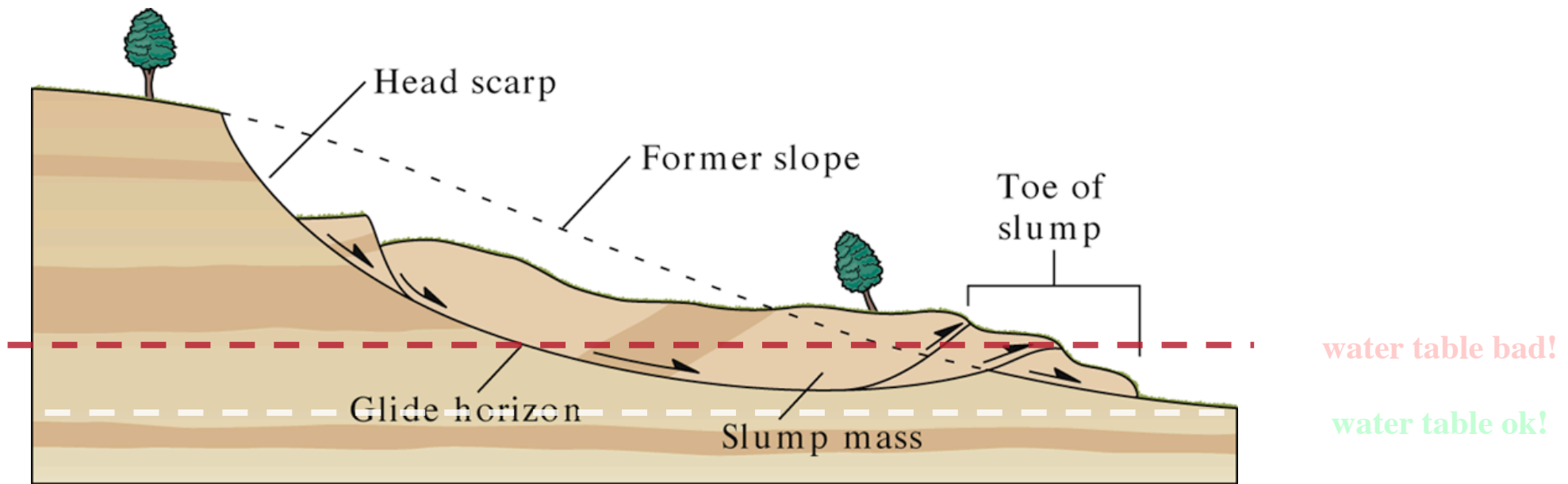


# Control: 2. Agua





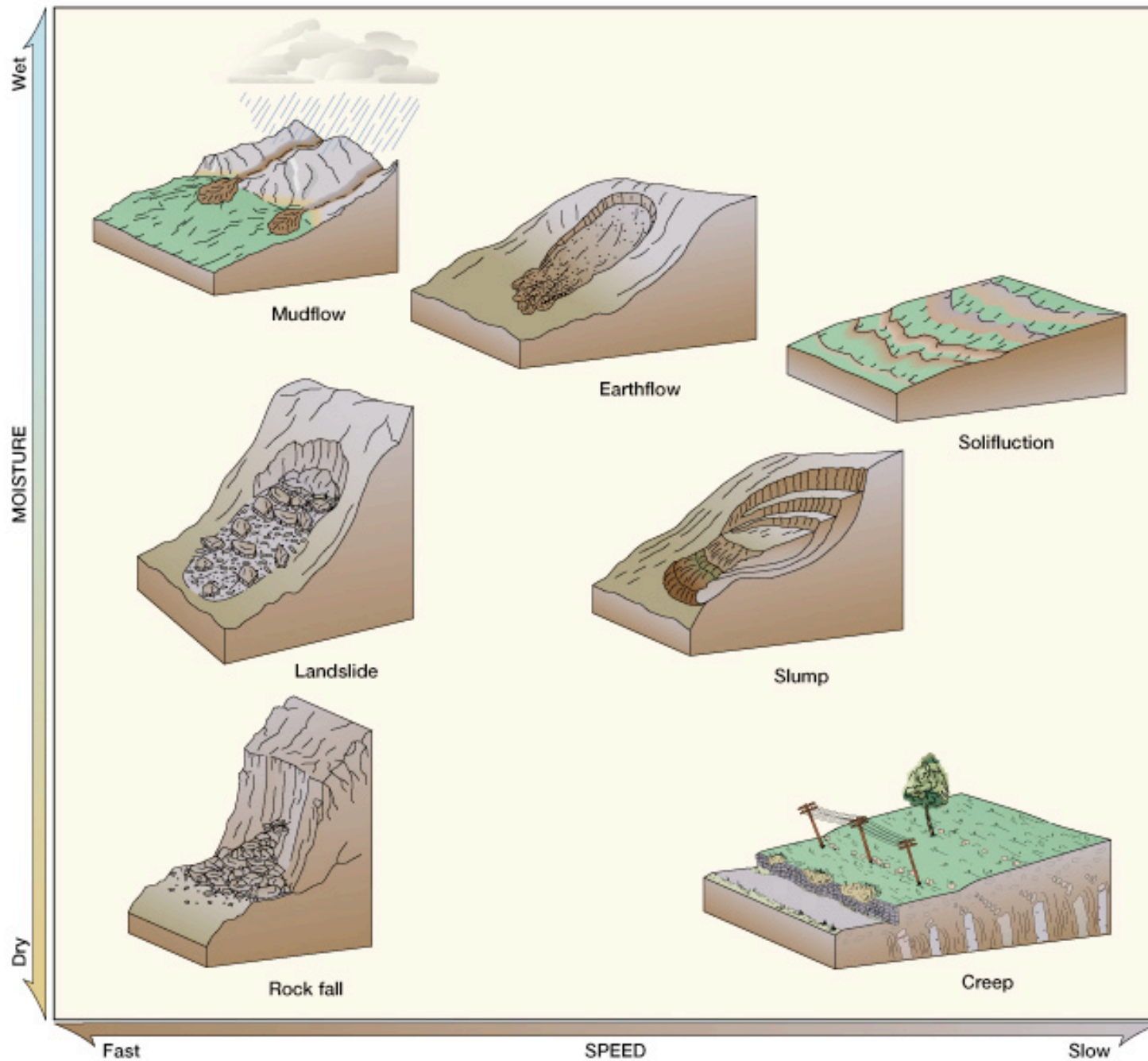
# Efectos causados por el hombre



- cambios en el nivel freático  
groundwater table

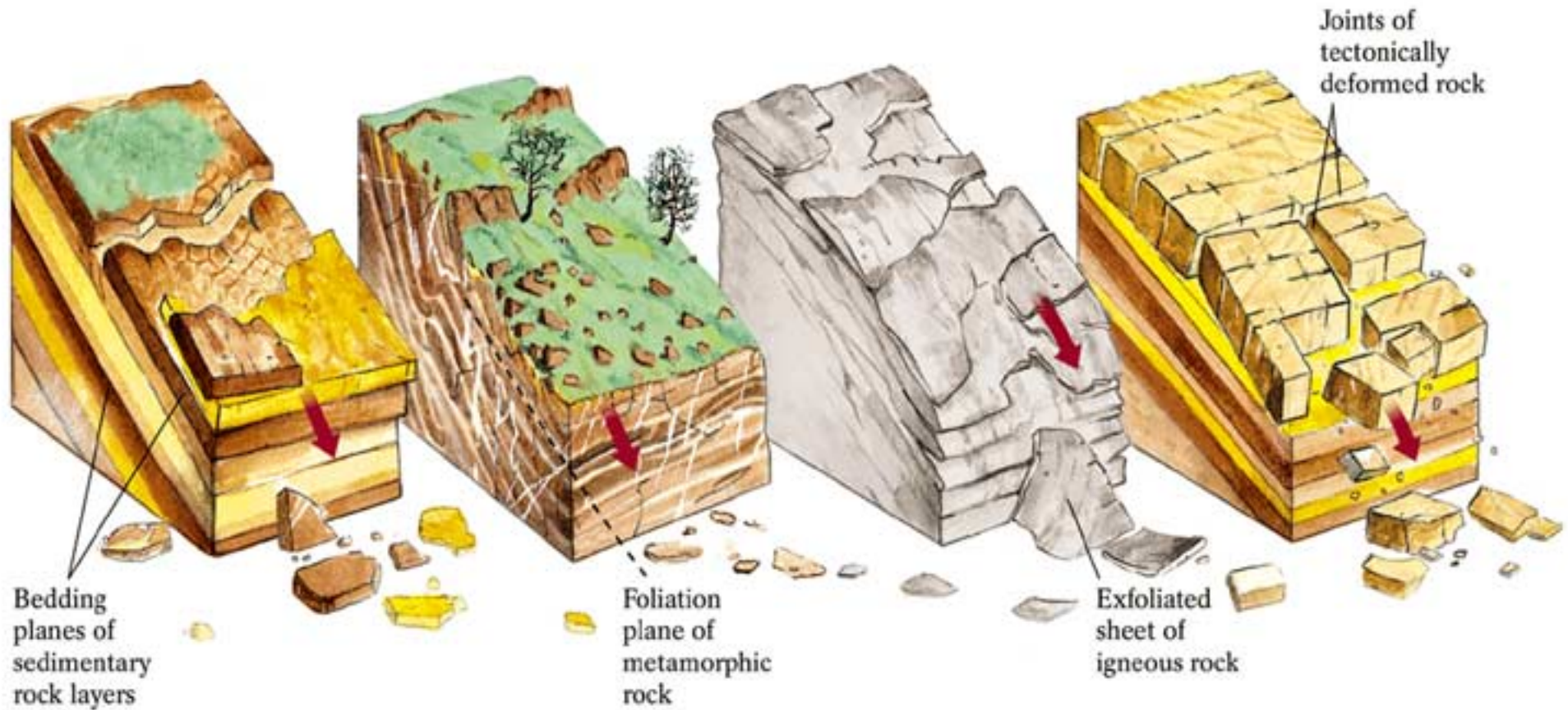
**OK: agua debajo de la zona débil**  
**MAL: agua por encima de zona débil**

# Control climático (resumen)





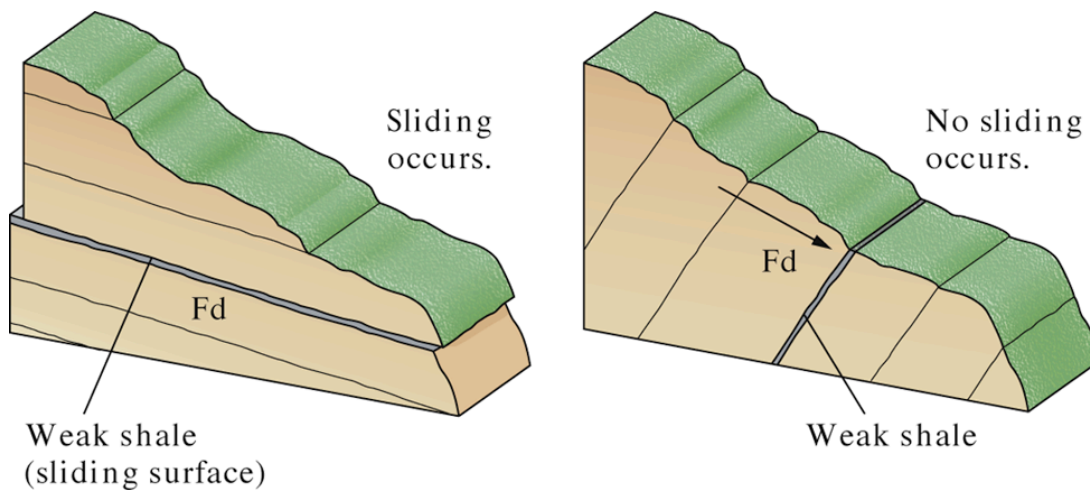
# Control Estructural (resumen)



# Zonas de Debilidad y estabilidad de pendiente

## Zonas de debilidad

- fallas
- fracturas (grietas)
- capas ricas en arcilla
- rocas blandas deslizando sobre roca fuerte
- roca fuerte sobre roca blanda en movimiento



## Ángulo de pendiente de zona de debilidad

- inclinación contra la pendiente -> estable
- inclinación con pendiente -> inestable



# El papel de la Arcilla

- muy fina
- meteorización química de rocas silíceas
- estructura en hojas con espacios por llenar
- absorbe agua, se expande, y se debilita

Clay

TOP VIEW

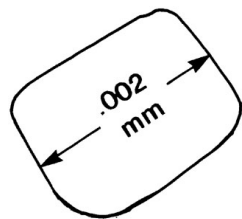
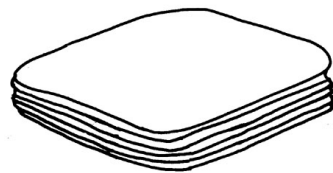


Fig. 9.8

SIDE VIEW



Quick Clay

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

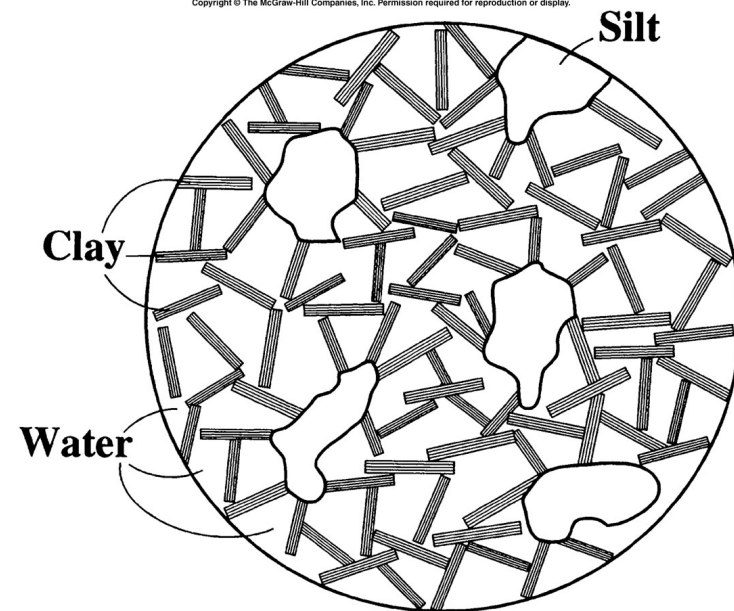


Fig. 9.9

# Turnagain Heights durante EQ de Alaska 1964

Bootlegger Quick Clay

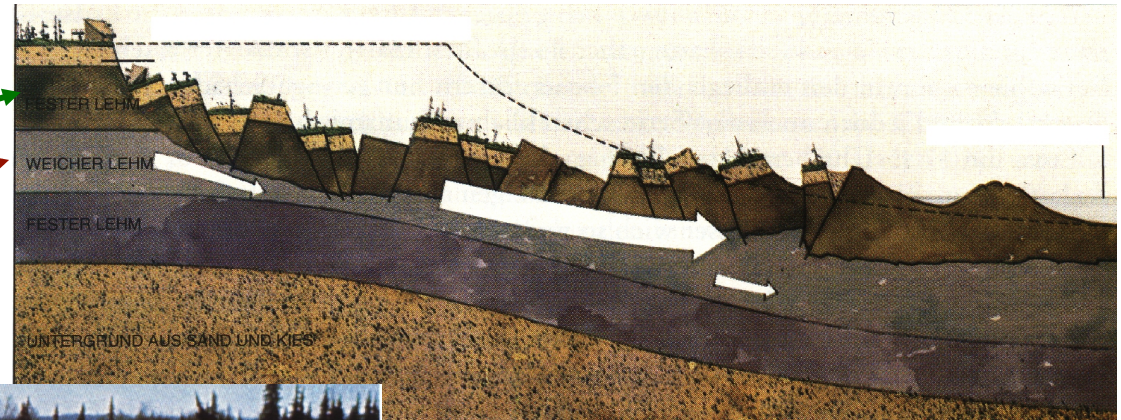
Rompe en bloques

licuafacción

fuerte

blanda

fuerte



- SUBSIDENCIA/LICUEFACCIÓN

Fig. 9.28



# Factores de activación

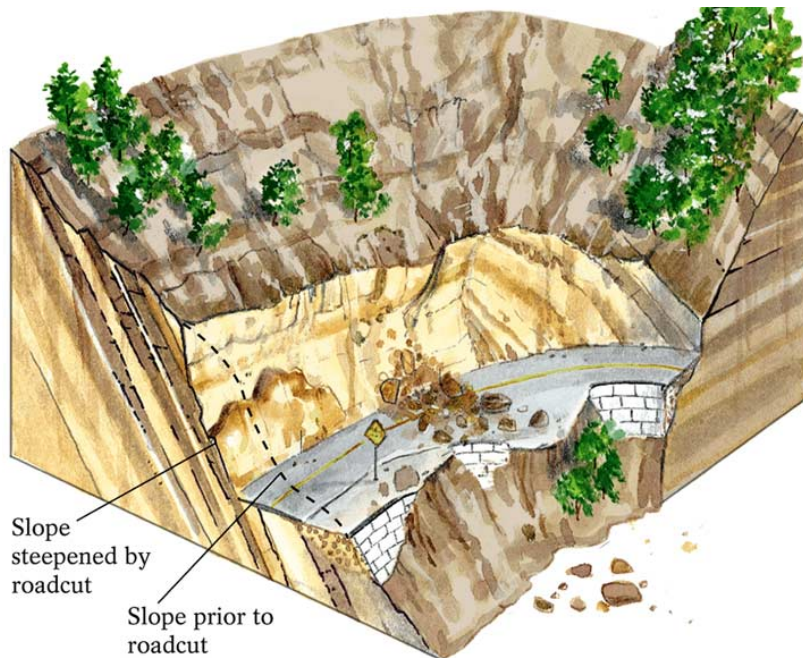
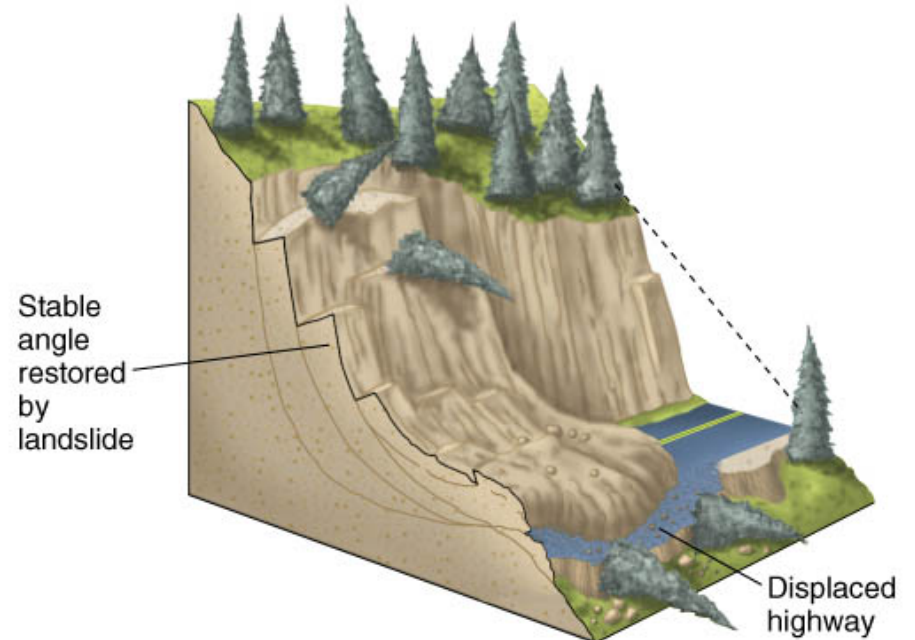
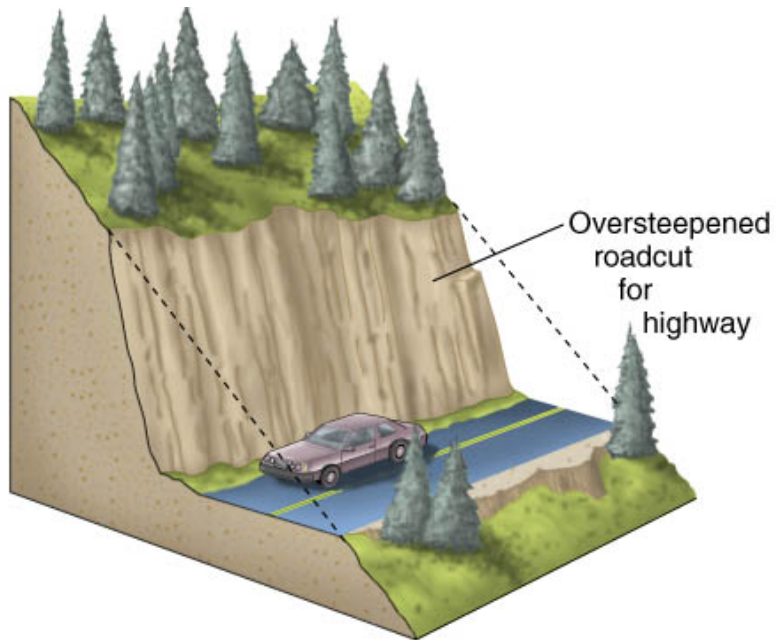
Terremotos

Adición de peso cuesta arriba

Socavación cuesta abajo

Lluvia fuerte

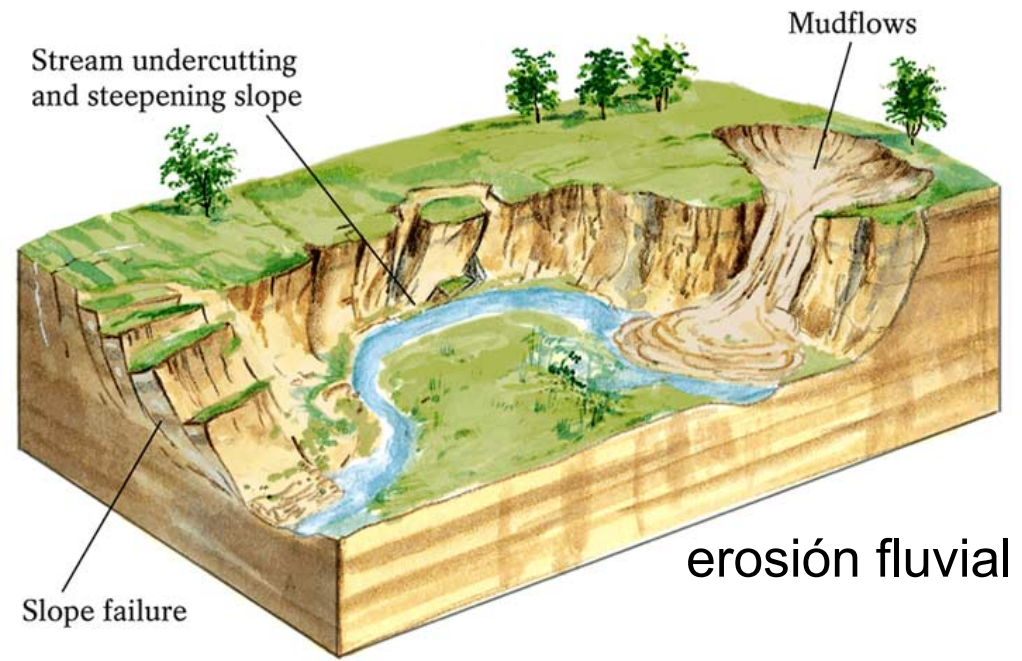
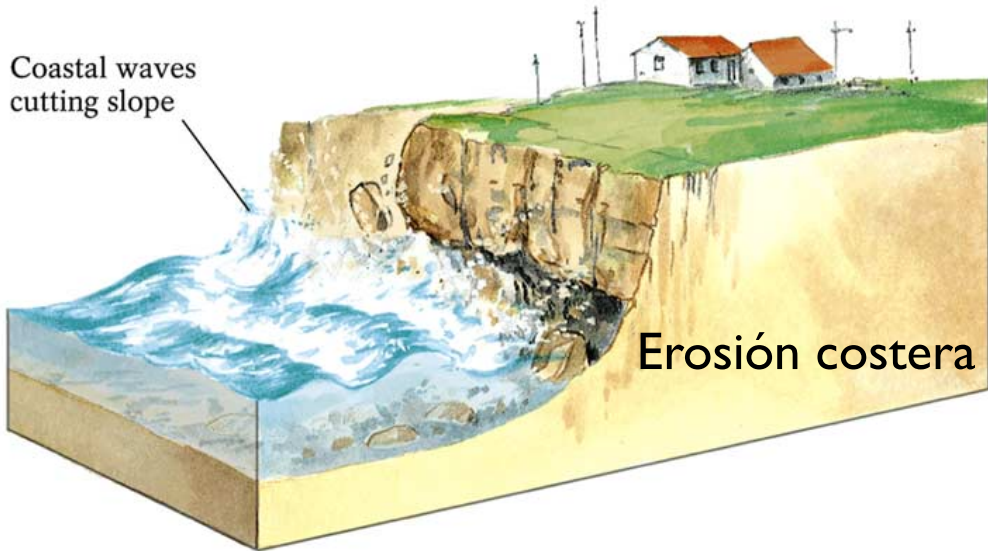
# Activación



Relevante a la construcción

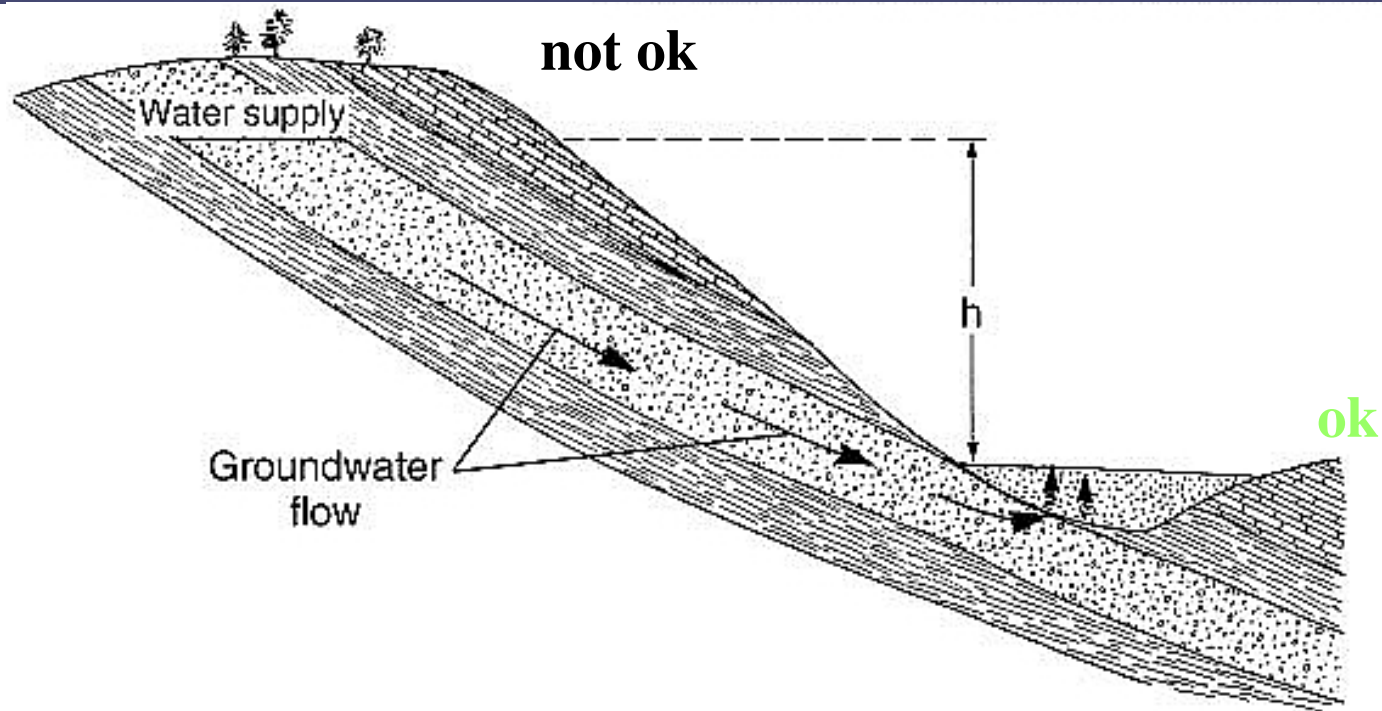


# Activación



# Causas internas de Fallas de Pendientes

- material inherentemente débil (arcillas)
- agua en varias formas  
(peso; interacción con arcillas; cambio presión de poros)
- disminuye cohesión  
(ej. Cuando capas cubiertas son expuestas)
- estructuras geológicas adversas dentro de una capa  
(superficies de deslizamiento preexistentes; daylight bedding; fracturas)



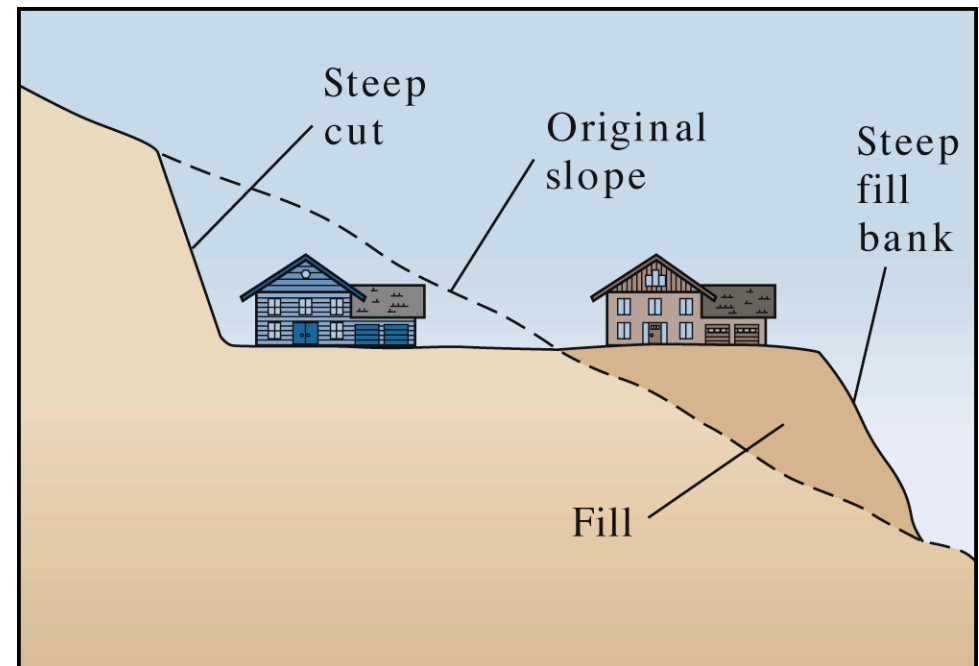
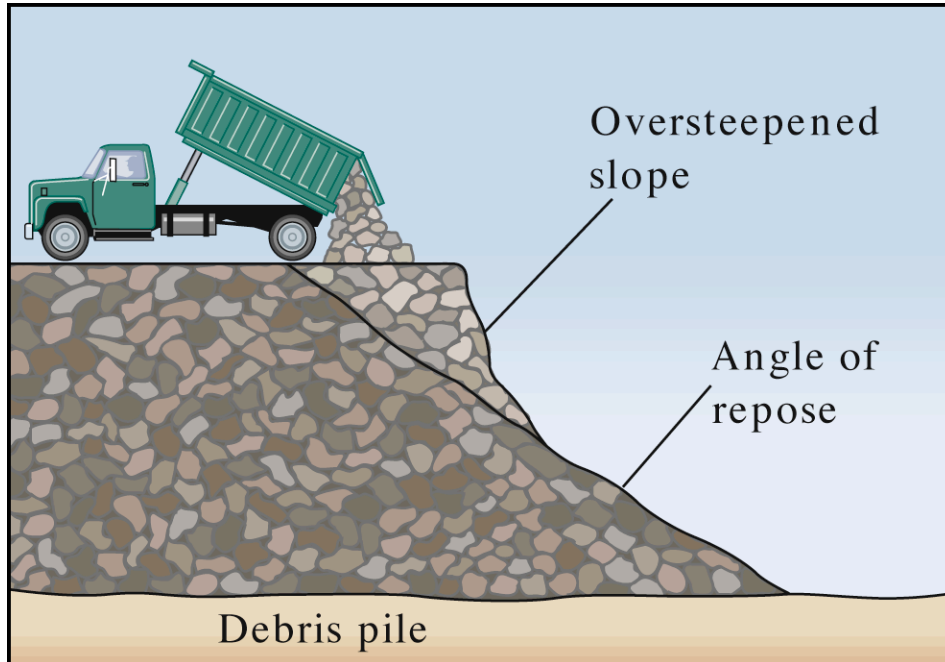


# **Causas externas de Fallas de Pendientes**

- Aumento de ángulo de la pendiente**
- cambio en la cabeza de la pendiente (adición de masa en el tope)**
- cambio en soporte de pendiente (quitar material en el pie)**

# Cómo puede actividad humana causar Fallas de Pendientes

- grading
- carreteras
- desarrollo de viviendas
- minería
- represas





# Efectos causados por el hombre



## Falla en infraestructura

- tubos de agua,
- tanques sépticos,
- desagües de lluvias tapados

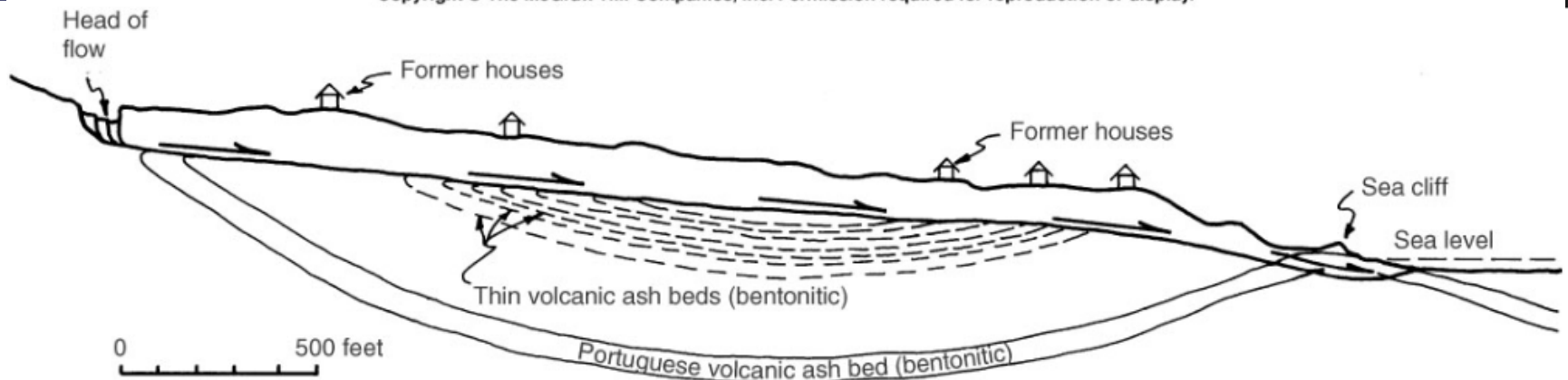
# Derrumbe en Palos Verdes, 1950's

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

- flujo de tierra antiguo
- fuerte acantilado sobre toba volcánica inclinada hacia el mar sentada sobre un shale
- condado pone 23m de relleno en la cabeza
- 1950s no hay sistema de desagüe
- nivel freático encima del horizonte de deslizamiento
- 1956-1985: 0.3 -2.5cm/día
- se movió un total de 200m
- destruye 150 viviendas
- sistema de drenaje no apropiado



Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.





# Portuguese Bend Hoy en día

you're  
fired



# Portuguese Bend Hoy en día



**Palos Verdes Dr. South bajo reparación constante**



# Point Fermin, Palos Verdes Peninsula, 1929/1930

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



- capas buzando al mar
- bloque se separa 30m de acantilado
- Ene 1929; bloque de 800m desliza lentamente (2m en 1 año)
- no hay muertos pero casas afectadas -> quitar
- posible causa: irrigación

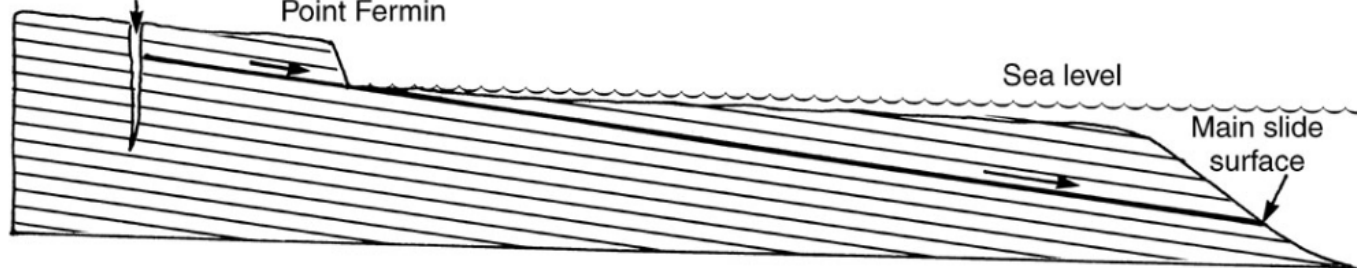
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission requir

Crescent-shaped crown  
on surface

Point Fermin

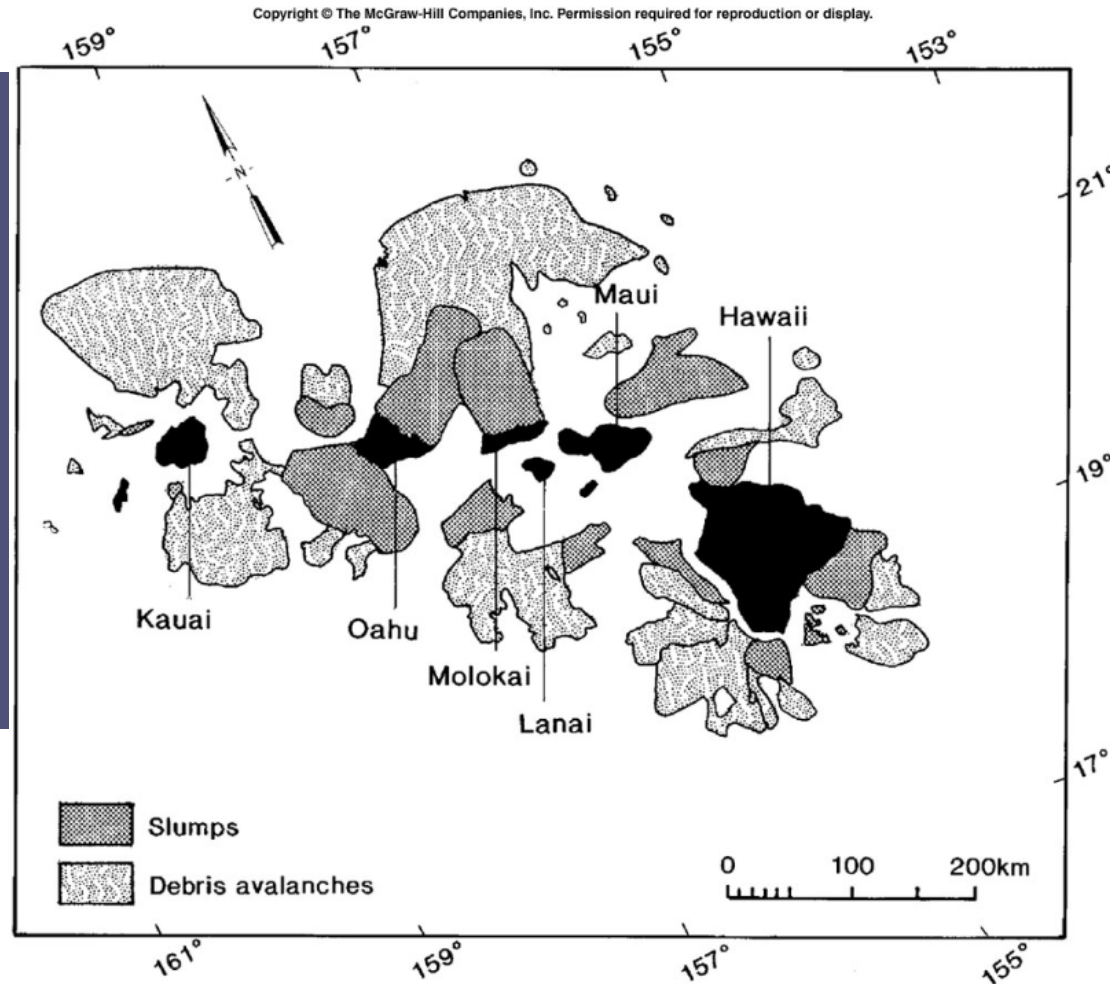
Sea level

Main slide  
surface



# Movimientos en masa submarinos- Hawaii

- más grande MM del mundo
- derrumbes y avalanchas de escombros (algunos > 200km largo)
- colapso de flanco de volcán (catastrofico)
- 70 en últimos 20 Mio años
- TSUNAMI global!
- corales encontrados a 365 m en Lanai

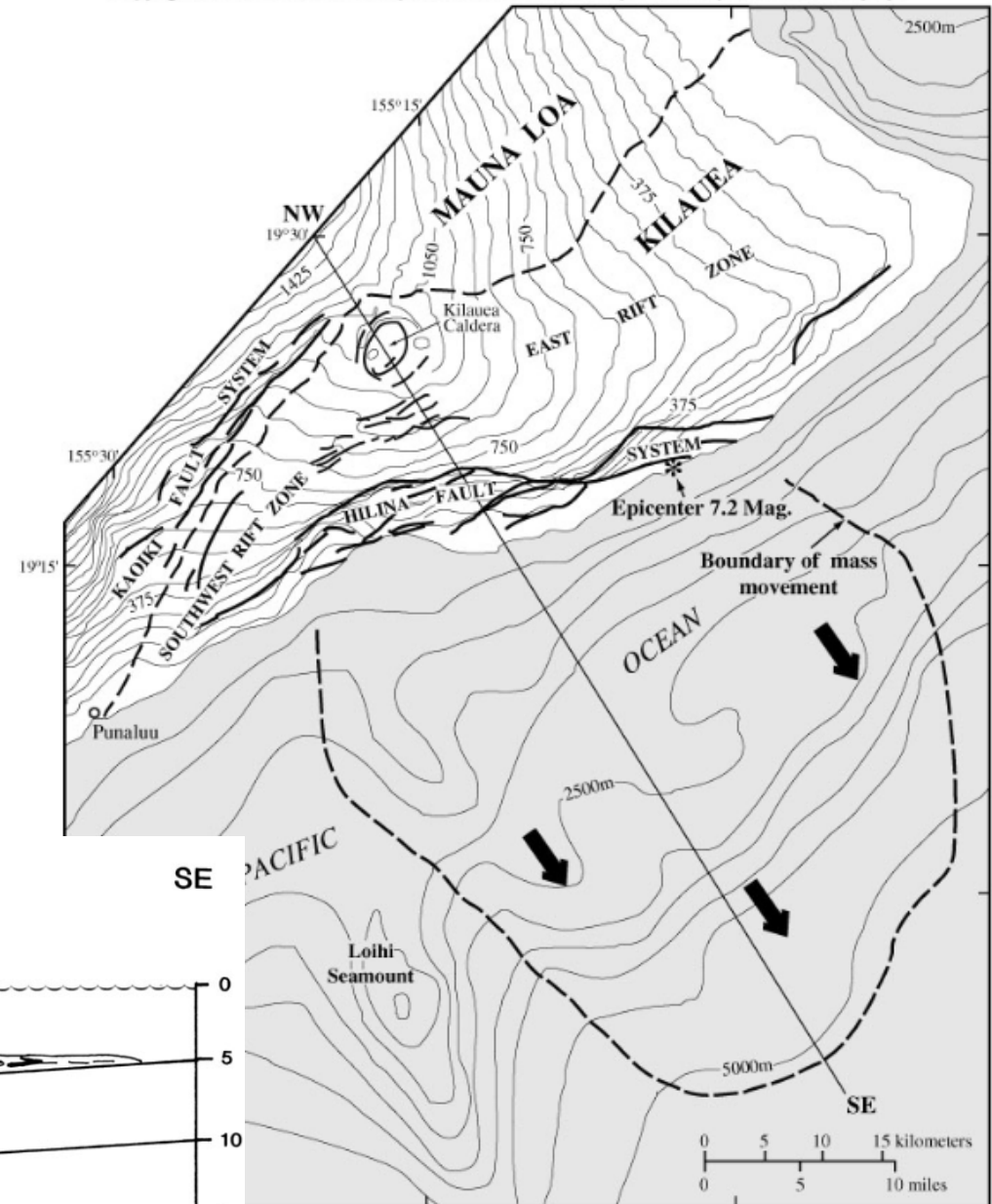




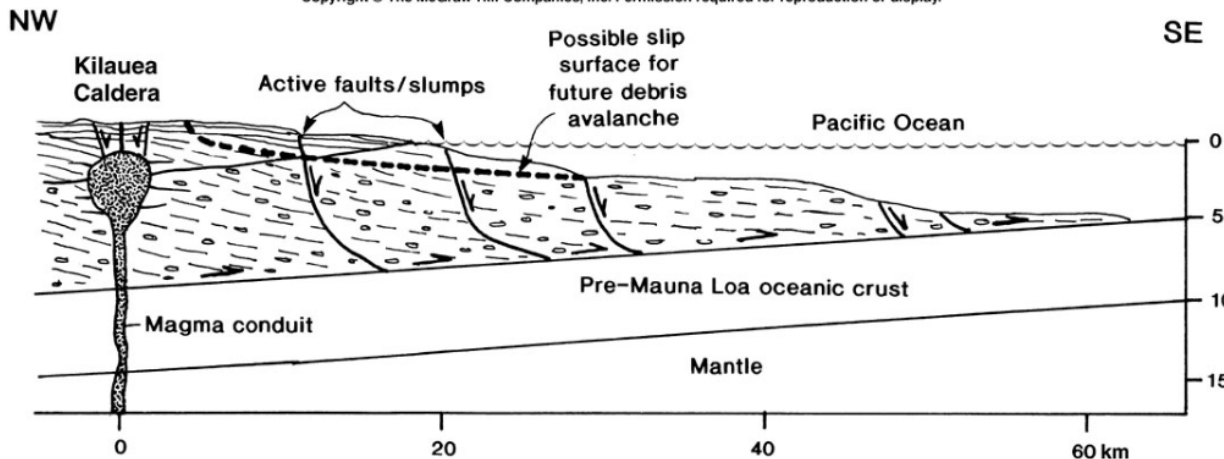
# Cómo será el siguiente?

- al sur de la zona de Rift
- mov. Masivo asísmico  
Nov. 2000 (6cm/día)  
(terremoto silencioso??)
- normalmente 25cm/año
- 1 colapso cada 10,000 años globalmente

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.





# Movimientos en masa submarinos - Hawaii

Potencialmente muy peligrosos!

Mov en masa que pueden generar un Tsunami

