

Deslizamientos de tierra y movimientos en masa

Movimientos en masa

- un movimiento en masa es un movimiento hacia abajo de material halado por la gravedad
- en USA, los movimientos en masa causan pérdida por \$1.5 billones y 25 muertos al año
- la mayoría de movimientos en masa están asociados a:
 - fallamiento de la pendiente
 - colapso de estructuras pendiente abajo

Necesidad de entender los movimientos en masa

- los movimientos en masa son una amenaza en aumento por el crecimiento de la población
- expansión de las ciudades
- construcción en terrenos inestables

Movimientos en Masa en Colombia

- áreas con alta precipitación
- áreas con pendientes fuertes
- áreas con valores altos de escorrentía (run-off)
- grandes ríos con meandros

Factores que controlan el desarrollo del paisaje

- erosión: los agentes son el agua, el hielo y el viento
- elevación: la pendiente de las laderas determina la velocidad de erosión
- clima: determina predominancia de agentes de erosión
- actividad de seres vivos: conservación (raíces de los árboles) y agentes de debilitamiento (bacterias)
- tectónica de placas: levantamiento, terremotos
- composición del substrato: controla la respuesta a la erosión
- actividad humana: minería, desarrollo de vivienda y urbano, represas, agricultura, deforestación y otros

El papel de la Gravedad

- la fuerza de la gravedad es constante y continua, halando verticalmente (hacia abajo)
- en una pendiente inclinada, la atracción de la gravedad se descompone en los componentes perpendicular y paralelo a la pendiente
- la fricción mantiene la masa en su posición; la fricción genera una fuerza paralela a la pendiente con la dirección opuesta a la de la fuerza pendiente abajo
- el balance entre la fuerza de resistencia y la fuerza pendiente abajo mantiene la masa quieta o permite que se mueva hacia abajo
- si la fuerza de fricción es más pequeña que la pendiente abajo, la masa se mueve hacia abajo
- algunos eventos pueden disminuir la fricción y provocar movimientos en masa: tormentas, irrigación, terremotos, erupciones volcánicas

El ángulo de reposo

- ángulo máximo que un montón de escombros puede conservar sin desintegrarse
- hasta 45°
- depende de las propiedades de las partículas
- partículas grandes y ásperas (o desiguales) tienen ángulos grandes
- partículas pequeñas, lisas tienen ángulos pequeños

una sustancia que actúe como cohesivo incrementa el ángulo de reposo; ejemplo: cuando se construye un castillo de arena, la gente usa agua para que las partículas de arena se peguen. Cuando el agua se seca, el castillo empieza a colapsar ya que los muros tienen una pendiente mayor al ángulo de reposo.

Superficies de Debilidad

La zona de contacto entre la masa que se desliza y el suelo abajo

- fallas
- grietas (grietas en las capas de las rocas)
- capas ricas en arcillas
- rocas blandas que se deslizan sobre rocas fuertes

- rocas fuertes que se rompen por el movimiento de roca más blanda abajo

la arcilla es un sedimento muy fino que proviene de la meteorización de rocas ricas en sílice. Las partículas de arcilla tienen una estructura de hojas (como las hojas de un libro) y pueden absorber grandes cantidades de agua. La arcilla se expande o se encoge, dependiendo de que tanta agua es absorbida y liberada, de esa manera debilitando el terreno.

Características fundamentales de fallas de pendientes

- la cabeza del escarpe (tear-away zone) en la parte superior
- pie o zona de apilado en la base
- horizonte de deslizamiento / superficie de debilidad
- fracturas transversales, donde la cabeza del escarpe entra a la zona de apilado

Causas Internas de Fallas de pendiente

- inherente material débil (p.e., capas ricas en arcilla)
- agua de varias formas (ver abajo)
- disminución de la cohesión (p.e., cuando capas enterradas son expuestas)
- estructuras geológicas adversas (p.e., superficie de deslizamiento preexistente, zonas de debilidad con buzamiento o inclinación similar a la pendiente (daylight bedding), estructuras dentro de las rocas (rocas que no han sido cementadas, lentes de arcilla, fracturas)

El papel del Agua en deslizamientos

- aumento del peso
- interacción con minerales arcillosos
- reducción de la cohesión
- aceleración de la erosión en la superficie y el subsuelo
- cambio en la presión de poros
- reducción de la fricción y lubricación a lo largo del horizonte de deslizamiento.

- localmente: lluvias, irrigación desde arriba
- mas regional: aumento del nivel freático (aguas subterráneas) desde abajo

Causas externas para fallas de pendiente

- aumento de la pendiente (p.e. por movimiento de falla)
- cambio en soporte; remoción de material en el pie de la pendiente (p.e., río corta uno de sus bancos)
- adición de masa en la cabeza de la pendiente (p.e., acumulación de sedimentos)

Cómo puede actividad humana causar fallas de pendiente?

- minería, grading, carreteras, desarrollo de viviendas
 - aumento de la pendiente por encima del ángulo de reposo
 - adición de masa en la cabeza (aumento de la energía potencial)
 - remoción del soporte en el pie (quitar masa en el pie)
 - remoción de vegetación que ancla la masa al suelo
- represas
 - cambio de la presión de poros
 - cambio del nivel freático
 - aumento del peso que puede abrir fracturas en el subsuelo e incluso generar nuevas
- drenaje inapropiado; irrigación excesiva
- deforestación

Deforestación

La deforestación puede ser particularmente devastadora en los trópicos y causar grandes movimientos y pérdida de tierra (mass wasting). Contrario a lo que uno pensaría de un bosque tropical, la capa fértil de humus es MUY delgada y fácil de erodar. De hecho, el suelo solo es bueno por un par de estaciones y los agricultores tienen que desplazarse a otras partes del bosque. Altas precipitaciones aceleran la erosión dejando grandes zonas no aptas para el cultivo (badlands). La acumulación de nuevo suelo tropical es extremadamente lenta, Un bosque tropical puede tardar miles de años para volver.

Movimientos en masa rápidos y lentos

movimientos lentos pueden causar pérdidas en la propiedad, los movimientos rápidos son grandes asesinos.

Clasificación de movimientos en masa

- típicamente basados en su velocidad y contenido de agua (ver apéndice)
- En el libro, la clasificación se basa en como se mueve la masa
 - – caídas
 - deslizamientos
 - flujos
 - subsidencias

Caídas

- caída libre de masa
- desprendimiento de masa a lo largo de un acantilado casi vertical
- movimiento de masa preferencialmente vertical (hacia abajo)
- la masa se mueve en bloques separados
- posiblemente provocado por: lluvias, hielo en cuñas, terremotos

Flujos

- flujo sobre topografía
- movimientos en masa que se comportan como fluidos viscosos
- domina el movimiento interno turbulento
- puede alcanzar velocidades de $\approx 320\text{km/h}$ (200mph) pero algunos pueden ser lentos (p.e. Portuguese Bend)
- no hay superficies de deslizamiento o son de corta vida

Deslizamientos

- movimientos sobre una superficie de falla (plana o curva)
- movimiento de una masa semisólida (no hay turbulencia interna)
- algo de la coherencia anterior al deslizamiento es mantenida (p.e., puede romperse en algunas partes)
- deslizamientos/derrumbes rotacionales
 - movimiento sobre una superficie de falla curva
 - cortas distancias
 - una fuerza de resistencia en el pie trabaja en contra de la fuerza impulsiva
 - cabeza del escarpe puede causar más inestabilidad cuando el agua se acumula arriba
- deslizamientos translacionales
 - deslizamiento en superficies de debilidad
 - puede desplazarse grandes distancias
 - tipo 1: la masa se mantiene coherente
 - tipo 2: la masa se deforma y desintegra formando un deslizamiento de escombros
 - tipo 3: puede esparcirse lateralmente, cuando el material en el top de rompe en pedazos

Subsidencia

- el suelo de mueve lentamente hacia abajo
 - se hunde lentamente
 - compactación de sedimentos saturados de fluídos (e.g. Nueva Orleans 3m en últimos 50 años)
 - extracción de aguas subterráneas o petróleo (e.g. Valle de San Joaquin 8.5m desde 1925, Las Vegas 1-2m desde 1935)
- rápidos
 - caída catastrófica
 - compactación de sedimentos saturados de fluídos o rápido colapso de cavernas
 - p.e. dolinas (sinkholes), colapso de cavernas (p.e., Winter Park, FL; Mayo 10, 1981) o (p.e., San Diego por daños en infraestructura) o (p.e., Guatemala, 2007)

Otras clasificaciones de los movimientos en masa

Clasificación por velocidad y contenido de Agua

- solifluxión
- reptación (creep)
- derrumbes
- deslizamientos
- flujos de tierra y de lodo
- avalanchas de escombros y nieve
- caída de rocas

Solifluxión

ocurren en áreas periglaciares (permafrost) donde solo los primeros 1-3 cm se derriten en el verano. Agua derretida no puede penetrar al subsuelo generando un suelo húmedo, empapado e inestable que se mueve pendiente abajo.

Reptación

- falla de pendiente más lenta pero también la más común. congelamiento y derretimiento del agua en el suelo hace cambiar su volumen y ayuda al deslizamiento pendiente abajo; movimiento puede ser tan lento que no es perceptible; puede verse el efecto en estructuras deformadas como vallas, troncos de árboles torcidos, posters de luz torcidos, etc. Puede causar el crecimiento o encogimiento del suelo (como un chichón).
 - agua congelada en los poros de las rocas se expande un 9%
 - Material expandible (p.e., arcillas) hace parte del suelo
 - calentamiento por el sol
- contracción
 - el suelo se descongela
 - suelo se seca
 - suelo se enfría

Flujo de escombros

- el agua puede participar como lubricante
- algunos flujos pueden ser secos!!! Generación de vapor actúa como lubricante
- hielo puede ser lubricante, ya que fricción puede derretir parcialmente el hielo
- cojines de aire

Avalanchas de Nieve

- similar a movimientos de tierra, pero usualmente de menor tamaño
- fuertes caídas de nieve o final de temporada
- pueden viajar unos cuantos km a 370km/h
- típicamente de 0.6-0.9m de alto, 30-60m de ancho; caída de 90-150m
- avalanchas secas viajan a 65-100km/h
- avalanchas húmedas a 30-65km/h
- esquiador en la base puede causar avalancha
- hay dos tipos básicos, tipo 1:
 - nieve polvorosa suelta; 95% espacio de poros
 - comienza en un punto y crece
 - comienza en la pendiente más fuerte (30-45°)
 - se mueve hacia pendientes menores (¡20°)
 - llega a su fin en el pie (¡20°)
- type 2:
 - grandes avalanchas cuando se rompen losas de nieve cohesiva
 - analogos a deslizamientos translacionales
 - losa de hielo contiene muchas capas de nieve compactada
 - superficies de derretimiento son superficies de falla potenciales
 - la masa se libera y desliza pendiente abajo como un gran horizonte de deslizamiento
 - típicamente se forman flujos durante el movimiento hacia abajo