

## 3- EROSIÓN Y MOVIMIENTOS EN MASA.

### 3.1 INTRODUCCIÓN.

En el estudio de la geotecnia es necesario identificar y entender la clase de proceso de degradación (Erosión, movimiento en masa), los mecanismos de falla, las causas y efectos con el fin de planificar la campaña de prospección, la toma de muestras, la exploración del sitio del problema, los ensayos de laboratorio, realizar el diagnóstico y plantear el tipo de solución. No entender el proceso, el mecanismo y las causas de un proceso de inestabilidad es dar un inicio incierto, que lleva a una posible solución poco práctica.

Se pretende hacer la diferencia entre los procesos de erosión y los movimientos en masa, con sus mecanismos, causas y posibles tipos de soluciones, con el fin de realizar las prácticas más apropiadas al momento de abordar un problema de origen geotécnico y plantear sus soluciones.

### 3.2 LOS PROCESOS DE DEGRADACIÓN.

#### 3.2.1 la erosión.

Se identifican siete tipos de erosión:

**Erosión hídrica** ocurre en las laderas y es el resultado del arranque, transporte y depósito de los suelos por la acción de las aguas pluviales y de escorrentía.

**Erosión fluvial** es lineal y afecta los cursos de agua. Es el arranque, transporte y depósito de los materiales que conforman el lecho de un cauce.

**Erosión eólica** es el modelado del suelo por la acción del viento, cuando arranca, transporta y deposita los suelos finos, desprovistos de vegetación.

**Erosión glaciar** es el resultado del modelado del relieve por la acción de los glaciares cuando movilizan, transportan y depositan materiales.

**Erosión periglacial** es propia de zonas cercanas a los casquetes polares cuando se presentan procesos de congelamiento, descongelamiento, combinado con otros tipos de erosión.

**Erosión litoral o costera** propia de las costas y ocurre por la acción de las olas y las mareas cuando remueven transportan y depositan suelos.

**Erosión kárstica** propia de formaciones calcáreas donde los suelos solubles en agua se erosionan internamente, formando cavernas.

En geotecnia se hace énfasis a los problemas causados por la erosión hídrica, fluvial y eólica que son las más frecuentes y generan problemas en estructuras.

#### 3.2.1.1 La Erosión Hídrica.

Los procesos de erosión hídrica modelan las laderas y taludes gracias a las aguas lluvias y de escorrentía que se generan durante los aguaceros. Estos procesos suceden en equilibrio cuando la

vegetación es natural o se realizan obras y prácticas de control de erosión en terrenos sometidos a actividades antrópicas. En laderas y taludes sin prácticas estos procesos se ven acelerados y ocasionan problemas inestabilizando laderas y taludes. Las manifestaciones de la erosión hídrica son las siguientes:

### a) Erosión Pluvial

Es la erosión causada por el impacto del agua lluvia sobre el suelo. El mecanismo de erosión por impacto la gota de lluvia incluye la compactación que sufre el suelo por la energía de las gotas y la acción hidráulica del agua que permite arrancar las partículas de suelo superficial e incorporarlo al flujo. Este fenómeno es estimulador de los caudales líquidos cuando la compactación disminuye la permeabilidad, y de los caudales sólidos cuando las partículas finas se incorporan al caudal. Es el principio de los otros procesos de erosión.

Las partículas son levantadas cerca de un metro desde la superficie, a la vez que desplazadas lateralmente algo más de un metro; cuando la lluvia golpea el suelo expuesto en taludes o terrenos inclinados, puede causar desplazamientos descendentes de pequeñas porciones de suelo. Se ha estimado que cerca de 224 ton/Ha de partículas de suelo, pueden ser desalojadas del terreno en un aguacero intenso, por este mecanismo. (Ellison, 1948 y Goldman et al, 1986)

Como consecuencia del impacto de las gotas de lluvia se destruye la estructura del suelo y éste se compacta un poco reduciéndose su capacidad de infiltración. Se puede alcanzar hasta un incremento del 15% en la densidad de una capa superficial de una pulgada de espesor (Gray y Leiser 1.982).

Cuando el suelo se seca, queda una costra dura lo cual dificulta la repoblación de la cobertura vegetal y prolonga la exposición del suelo al intemperismo.

Para formarse una idea sobre la cantidad de energía desplegada en este proceso, se comparan aquí datos reportados por Lull (1.959), sobre la intensidad y el tamaño de las gotas de lluvia en dos aguaceros: uno, moderado con intensidad de 0.15 pulgadas por hora, con otro de 4 pulgadas por hora. Para ese rango, el tamaño de las gotas de lluvia se incrementa en un 250% mientras la velocidad de la lluvia se aumenta en un 150%, en tanto que la energía cinética es 65 veces superior. Esto hace llamar la atención sobre la necesidad de proteger el suelo del impacto de las gotas de lluvia, proceso que se considera el precursor de los procesos de erosión restantes.

Wischmeier and Smith (1958), desarrollaron la siguiente expresión matemática para calcular la energía cinética (E) de las gotas de lluvia como una función de su intensidad.

$$E = 916 + 331 \log i \quad (3.1)$$

Donde,

E = energía cinética en ton-pie/acre-pulgada

i = intensidad de la lluvia, en pulgadas/hora



**Figura 3.1** Geoformas creadas por la erosión pluvial. Las columnas de suelo son generadas gracias a la movilización de los suelos finos y la protección de las gravas. (Carlos E Escobar)

### b. Esguerrimiento Superficial Difuso.

En los suelos desprovistos de vegetación en pendientes donde ha actuado la saltación pluviál, el agua esgurre con régimen laminar un trayecto muy corto, removiéndo las partículas de suelo y materia orgánica desalojada por ese proceso.

En este caso se concentra menos energía que en el de las gotas de lluvia; mientras que, en caída libre, la mayoría de las gotas de lluvia se desplazan a velocidades de 6 a 9 m/seg en aguaceros fuertes, en el esgurrimiento asociado a la erosión laminar, la velocidad del agua no supera por lo general 30 cm/seg. (Gray and Leiser, op. cit.).

En concepto de Goldman et al (1986), el flujo laminar superficial, se desplaza como una lámina uniforme efectiva solo unos pocos metros; cuando la velocidad de flujo sobrepasa los 30 cm/seg, el flujo se torna turbulento y la esgorrentía se concentra en terrenos más pendientes y rugosos dando lugar a surcos de erosión y cárcavas.

Por lo anterior, parece que la erosión laminar como tal, tiene poca importancia en la práctica. Existen otros procesos como las escamaduras de suelo seco y deslaves, algo semejante a la erosión laminar, que vale la pena considerar por su agresividad.

En el primer caso se trata de desprendimientos de costras superficiales de suelo con textura gruesa que en estado seco, pierden su cohesión aparente y se separan en forma rápida de los taludes.

El segundo, se refiere a la acción del agua que esgurre libremente sobre las caras de excavaciones recientes, provocando la separación de capas relativamente uniformes de suelo o roca triturada, que se han aflojado por razones diferentes, como el congelamiento y deshielo de masas sueltas y húmedas en alta montaña, el carácter desleíble de algunas rocas arcillosas, la presencia de terrenos saprolíticos o arenosos sueltos, o de roca fuertemente cizalladas en zonas de falla.

Las dos modalidades señaladas constituyen mecanismos importantes de degradación de taludes y una inmensa fuente de sedimentos por separación de bloques y masas de suelo desde los taludes de cortes, con pérdida de varias toneladas de suelo que durante el año, y principalmente en excavaciones recientes, invaden las estructuras hidráulicas y finalmente contaminan las corrientes.

### c. Surcos de erosión (Esguerrimiento Superficial Concentrado).

Tan pronto como el flujo se vuelve turbulento el agua adquiere energía suficiente para formar canales pequeños pero bien definidos, relativamente paralelos o anastomosados, a veces con control



**Figura 3.2** Los surcos son canales labrados por los flujos concentrados, cargados con sedimentos. (Carlos E Escobar P.)

estructural, denominados surcos de erosión. La figura 3.2 presenta una pendiente afectada por erosión en surcos.

Este proceso es más grave que el de erosión laminar a causa de que la velocidad del flujo es mucho más alta en los canales, especialmente durante los aguaceros fuertes en laderas pendientes conformadas por materiales erodables. Si los surcos de erosión no son muy profundos, éstos se pueden remover en forma relativamente fácil perfilando el terreno, pero si no se tratan, se generan cárcavas.

#### d. Cárcavas.

Son canales o zanjones de diferente tamaño y forma, formados por flujos concentrados y aguas de manantiales. Más profundos y amplios que los surcos, por ellos circula agua en forma intermitente, durante o un poco después de los aguaceros.

Según Gray y Leiser (1982.), se presentan 4 estados en su desarrollo: 1) formación y entallamiento de un canal o zanja, por escurrimiento concentrado de agua, 2) erosión remontante desde la base del canal y ensanchamiento del mismo, 3) cicatrización y 4) estabilización.

Dentro de las dos primeras etapas, las cárcavas se consideran activas y se reconocen, porque en ellas el suelo está desprovisto de vegetación. En respuesta a cualquier control artificial que se establezca o a una acción natural, las cárcavas pueden llegar a estabilizarse con el tiempo.

En el proceso de estabilización la vegetación se establece primero en el fondo del canal y la estabilización total se logra, si se equilibra la pendiente del canal y se arraiga la cobertura en toda el área afectada.

Las causas del avance de una cárcava pueden ser muy variadas y no deben atribuirse al escurrimiento aislado del agua lluvia. Pueden obedecer a procesos completamente naturales sin la intervención humana, en las partes más altas de las cuencas, o constituir procesos inducidos artificialmente.

En laderas protegidas con vegetación, el proceso puede iniciarse como consecuencia de entregas deficientes de alcantarillas de carreteras, que provocan desborde libre de agua sobre las laderas.

Estas aguas causan primero la formación de canales pequeños que se abren paso a través de la cobertura; si en esta etapa no es controlado, el proceso continúa con el entallamiento de esos canales y la exposición del suelo y la roca que quedan sometidos al impacto directo de las aguas pluviales. Los canales se van transformando en zanjones cada vez más profundos y amplios y en conjunto se va conformando una depresión acanalada, donde pueden tributar varios canales secundarios. La



**Figura 3.3** Cárcava formada por concentración de aguas que bajan desde la corona de la ladera y labran el fondo. Las laderas ajustan sus pendientes al canal, gracias a los movimientos en masa y los procesos de erosión. (Carlos E Escobar).

hondonada así formada, se profundiza y ensancha progresivamente, a la vez que la ladera se sobreempina en la corona de la cárcava, debido a erosión remontante.

Con el avance de la erosión remontante el canal incrementa su capacidad de concentrar flujo y en épocas de lluvias, se va extendiendo también en la dirección de aguas abajo, generando un arroyo o torrente. Al mismo tiempo, hacia la cabecera se inician múltiples procesos denudativos como flujos de detritos y tierras desde los bordes de la zona ocupada por el sistema de cárcavas, ahora más amplia, y desplazamientos en masa en las partes más pendientes de la misma.

Si en el proceso de socavación queda expuesto el nivel freático, la erosión regresiva puede hacer retroceder una ladera de 10 a 15 metros por año y como causa de la denudación, el volumen de material desalojado puede ser de varios cientos de miles de metros cúbicos en un período de 5 a 10 años.

En su estado evolucionado, lo que se inició como un par de surcos de erosión, en una ladera de pendiente uniforme y cubierta de vegetación, se transforma en una inmensa hondonada con taludes muy pendientes donde se ha formado un sistema complejo de cárcavas y desplazamientos en masa, y un canal de flujo alimentado por las cárcavas, a lo largo del cual, son transportados los escombros de roca y suelo desalojados por la denudación durante las épocas invernales.

Debido al poder abrasivo de la carga, el canal se profundiza y ensancha aún más, incrementándose la inestabilidad, lo mismo que el volumen de carga sólida. Finalmente esa carga acarreada, se acumula en forma de abanico en la desembocadura del canal, sobre un terreno más suave o sobre la margen de alguna corriente, produciendo allí perturbaciones en su cauce, y generando otros daños.

Durante aguaceros intensos se incrementa considerablemente el caudal sólido y por ende, el poder abrasivo de una corriente, lo que hace que estos eventos constituyan pulsos erosivos muy fuertes. Como consecuencia de ello, el proceso de degradación se caracteriza por; 1) saltación pluvial intensa y deslave en toda la ladera expuesta; 2) incremento notable del carcavamiento general con gran aporte de sólidos incorporados en los flujos de detritos y de lodos; 3) el consiguiente sobreempinamiento de las laderas en el pie del frente de erosión, con posible inducción de movimientos en masa; y 4) notable trabajo de los sedimentos de fondo a lo largo de toda la red de drenaje, con fuerte eliminación de soporte, principalmente desde el fondo del cauce principal, con activación de los movimientos en masa, principalmente hacia la zona de corona y en el contorno de toda la ladera afectada.

El efecto general de cada uno de estos pulsos de degradación, se traduce en un significativo avance retrogresivo y lateral de la inestabilidad, un incremento importante del socavamiento y un nuevo aporte de sedimentos en la zona de acumulación en la parte baja.

Un proceso de carcavamiento también puede iniciarse por deforestación o por la acción de manantiales que comienzan a brotar en alguna ladera, como consecuencia del incremento en el nivel freático, con la contribución de otros factores.

#### **e. Esguerrimiento Sub-superficial.**

Las aguas de infiltración ocasionan tubificación o sifonamiento, proceso que consiste en la formación de cavidades cuando las fuerzas de filtración exceden la resistencia del material. Afectan principalmente suelos no cohesivos como arenas finas, limos y algunas areniscas mal cementadas (Sowers and Sowers, 1.972).

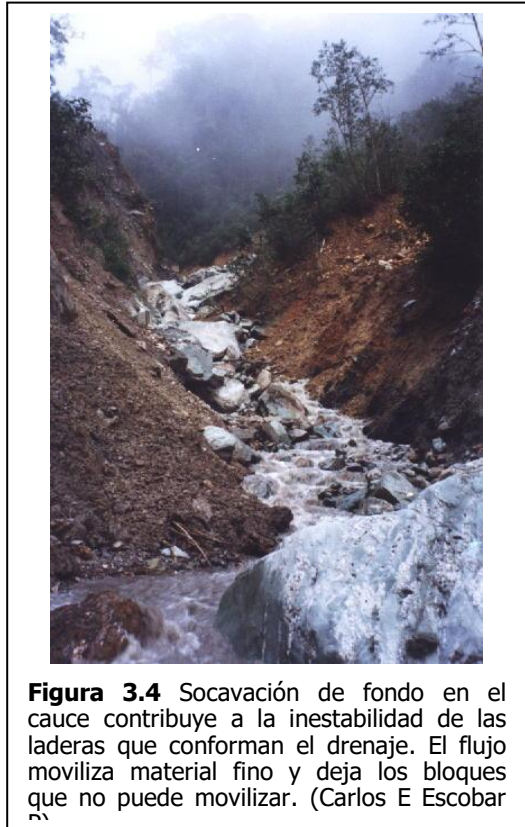
Por su parte la formación de cavernas y otros conductos, se debe a la disolución de rocas solubles como las calizas y otras rocas carbonatadas, a partir del ensanchamiento de grietas por la acción disolvente de las aguas meteóricas cargadas con anhídrido carbónico, oxígeno y en algunos casos ácidos orgánicos.

### 3.2.1.2 Erosión Fluvial.

Propia de los cauces de ríos y quebradas; las manifestaciones son los procesos de socavación de fondo y socavación lateral.

#### a. Socavación lateral y de fondo

Se trata de la erosión producida por el agua encauzada, debido a su circulación por drenajes naturales de quebradas y ríos. Consiste en la movilización y el desalojo de suelo del canal, la erosión lateral y la socavación en el fondo. Es una erosión lineal, moderada por la erosión hacia la cabecera, o erosión regresiva. En corrientes juveniles que drenan terrenos generalmente muy pendientes, y a lo largo de arroyos y torrentes, predomina la erosión de fondo sobre la erosión lateral, mientras que en corrientes maduras o de orden alto, es más importante la erosión lateral. La figura 3.4 presenta un proceso de erosión fluvial intenso en el pie de un deslizamiento de la ladera derecha de la fotografía.



**Figura 3.4** Socavación de fondo en el cauce contribuye a la inestabilidad de las laderas que conforman el drenaje. El flujo moviliza material fino y deja los bloques que no puede movilizar. (Carlos E Escobar)

En el estudio de estos procesos debe considerarse el hecho de que las corrientes se integran en sistemas fluviales, gobernados por un número de variables hidrológicas e hidráulicas que incluye la descarga de la corriente, el carácter de la carga transportada, la profundidad, anchura y forma del canal, así como la pendiente y sinuosidad del valle. Estas variables están en equilibrio dinámico unas con otras y varios investigadores han encontrado importantes relaciones entre ellas, las cuales resultan útiles para analizar su actividad.

#### Mecanismos

Desde el punto de vista de la evolución morfológica, Keown et al (1977), señalan tres mecanismos de erosión en canales:

1. Ensanchamiento, debido al desgaste producido por el incremento del flujo y/o de las descargas de sedimentos.
2. Profundización por degradación en el fondo causada por el incremento del flujo o cambios de la pendiente.
3. Cambios en la sinuosidad del cauce, por pérdida de materiales en las orillas y la evolución de los meandros.

En la Tabla 3.1 se presenta una clasificación general de los procesos de erosión hídrica y se comentan algunos de sus efectos ambientales

**Tabla 3.1** Procesos de erosión hídrica y su contribución a la inestabilidad

TIPO	ACCION	EFEKTOS
<b>EROSION HÍDRICA.</b>  La acción de las aguas lluvias y de escorrentía son más intensos en laderas desprovistas de vegetación.	<b>Erosión Pluvial</b> Desalojo y dispersión de partículas de suelo por el impacto de las gotas de lluvia. Los suelos son arrastrados en suspensión, estimulando otras formas de erosión.	El impacto de la lluvia sobre el suelo, disminuye la porosidad por compactación, reduciendo su capacidad de infiltración. Este proceso desencadena el resto de procesos erosivos.
	<b>ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL DIFUSO</b>	
	<b>Erosión Laminar.</b> Arrastre uniforme de capas delgadas de suelo, muy cortas distancias, debido a escurrimiento difuso.	El escurrimiento de suelos limosos y limo-arenosos en taludes viales y otras excavaciones, constituye una fuente muy importante de sedimentos.
	<b>ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO</b>	
	<b>Erosión en surcos.</b> El escurrimiento concentrado labra pequeños canales más o menos paralelos, independientes. Se pueden eliminar con el perfilado y la protección del suelo.	Esta manifestación de la erosión es más incisiva debido a la energía que adquiere el agua concentrada en los canales.
	<b>Erosión en cárcavas.</b> Es la erosión en zanjas profundas, de gran tamaño, estimulada por la concentración de aguas y sólidos. El proceso crece gracias a la profundización del fondo y los procesos remontantes.	Estos procesos se inician generalmente por vertimiento no controlado de aguas de escorrentías o de filtros. Acentúan el relieve promoviendo otras formas aun más graves de inestabilidad y constituye una fuente importante de sedimentos.
<b>EROSIÓN KARSTICA</b> Agua subterránea	<b>ESCURRIMIENTO SUB-SUPERFICIAL</b>	
	<b>Tubificación y cavernas.</b> Debilitamiento interno del terreno	Puede originar manantiales, cárcavas y hundimientos.
<b>EROSION FLUVIAL.</b>  Acción de las aguas encauzadas: Torrentes, quebradas ríos	<b>Socavación de Fondo</b>  <b>Socavación lateral</b>  <b>Descarga torrencial</b>	Profundiza el fondo de los cauces naturales, bisectando el terreno y eliminando soporte en la base de las laderas, lo cual puede promover deslizamientos. Provoca destrucción de las orillas inestabilizando fundaciones y originando deslizamientos Efectos devastadores en las márgenes de los torrentes de montaña.

### 3.2.1.3 Erosión Eólica.

Se relaciona con el arrastre y depósito de partículas tamaño limo y arena fina por acción del viento y opera principalmente en regiones donde la vegetación es escasa, como los desiertos cálidos y fríos, y zonas de arenas costeras.

A partir de los depósitos sueltos de arena se forman las dunas, en tanto que las acumulaciones de limo y arcilla, con algo de arena muy fina, forman loess.

Los vientos contribuyen al secado del suelo cuando este está desprovisto de vegetación, y los suelos arcillosos de cenizas volcánicas sometidos a secado por el calor del sol y la acción de los vientos pierden su plasticidad hasta convertirse en suelos altamente erodables. El secado es más intenso en los taludes viales muy pendientes, protegidos con pastos, sometidos a podas sucesivas donde se retira todo el follaje y quedan desprovistos de vegetación.

La vegetación protectora del suelo es disipadora de la energía del viento y controla las temperaturas que acceden al suelo, conservando la humedad, la plasticidad del suelo y su estabilidad.



**Figura 3.5** Las geoformas redondeadas creadas por la erosión eólica. (Carlos E Escobar P.)

**a. Factores**

En el caso de las dunas, el movimiento de las partículas se inicia cuando en las regiones secas desprovistas de vegetación, se presentan vientos fuertes. Según datos de Chepil (1945), las partículas son transportadas por el viento de tres maneras, tal como se presenta en la Tabla 3.2, a continuación.

La mayoría de las partículas viajan rasantes a la superficie, a no más de un metro de altura.

**Tabla 3.2** Transporte de partículas por el viento

Mecanismo	Tamaño Partícula (mm)	Suelo Movilizado %
Suspensión	< 0.1	3 - 38
Saltación	0.1 - 0.5	55 - 72
Creep Superficial	0.5 - 1.0	7 - 25

**b. Control.**

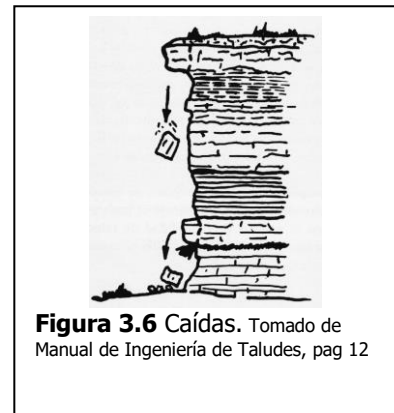
El movimiento de las dunas se puede controlar, instalando barreras rompevientos que atenúan o impiden el movimiento de las partículas o la migración de las masas de arena.

También se acostumbra plantar coníferas o herbáceas para crear obstáculos, o ligar las partículas con aceite u otro aglutinante. (Krynine and Judd, 1980).

**3.2.2 MOVIMIENTOS EN MASA**

Por movimientos en masa se entiende el desplazamiento del terreno que constituye una ladera o un talud, hacia el exterior del mismo y en sentido descendente.

Las laderas o taludes pueden ser naturales o bien conformados de



**Figura 3.6** Caídas. Tomado de Manual de Ingeniería de Taludes, pag 12

manera artificial al efectuar excavaciones en el terreno o incluso terraplenes, es interesante antes de aplicar soluciones estabilizadoras a una ladera o talud identificar correctamente los mecanismos de rotura, ya que de lo contrario dichas soluciones pueden llegar a ser poco efectivas o contraproducentes.

Existen numerosas publicaciones que describen los diferentes mecanismos de rotura, pero no hay aún un consenso científico a la hora de utilizar una terminología común. Se considera así conveniente incluir en este capítulo una reciente clasificación de los movimientos de masas (Corominas, J. y García Yague, A. 1997), que aparte de resultar didáctica, ayudará a abordar correctamente las actuaciones técnicas a seguir en cada uno de los casos donde se produzcan problemas de inestabilidad.

Los movimientos pueden ser agrupados según dichos autores, en cinco mecanismos principales: desprendimiento y colapso, vuelco, deslizamiento, expansiones laterales y flujos.

A continuación se describe brevemente cada uno de estos mecanismos, siguiendo la citada publicación:

### 3.2.2.1 Movimientos con predominio de la trayectoria vertical.

Son procesos que involucran masas de suelo y roca y los factores contribuyentes principales son el intemperismo, la erosión hídrica, fluvial y eólica y el factor detonante pueden ser vientos, lluvias o actividad sísmica con la contribución de la gravedad.

#### a. Desprendimientos o caídas

Se originan por el despegue de una masa del suelo o roca de una pared empinada o acantilado y posterior descenso mediante caída libre, a través del aire, y rebote o rodadura final.

La rotura tiene lugar por mecanismos de deslizamiento o vuelco de pequeña envergadura que proporcionan a la masa despegada una velocidad inicial en el momento de caída libre. El movimiento es de muy rápido a extremadamente rápido.

#### b. Colapsos

También conocidos como desplomes, consisten en la caída de masas de material, con una trayectoria vertical, debido a la socavación efectuada por un río o el oleaje en un acantilado o la meteorización y disgregación de las rocas del pie del mismo.



**Figura 3.7** Vuelco por flexión.  
Tomado de Manual de Ingeniería de Taludes, pag 15

### 3.2.2.2 Movimientos de giro de bloques conformados por fracturación vertical.

#### a. Vuelcos

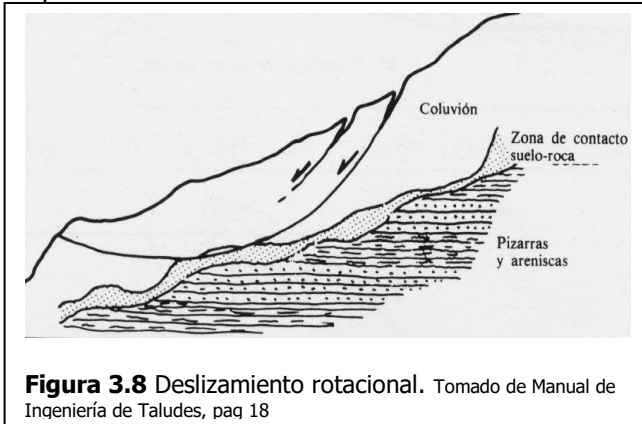
Es la rotación hacia delante y hacia el exterior de una ladera, de una masa del suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad. Las fuerzas desestabilizadoras son la gravedad y las fuerzas ejercidas por el terreno adyacente o por fluidos en las grietas. Dentro del mecanismo de vuelco se distinguen dos procesos

#### b. Vuelcos por flexión

Tiene lugar cuando las discontinuidades del macizo forman columnas semicontinuas en voladizo, con la posibilidad de flexionarse hacia adelante por descarga hasta romperse por flexión.

#### c. Desplomes

Se produce en bordes de acantilados rocosos o de materiales areno-arcillosos compactados, donde la masa movida cae inicialmente con un movimiento de giro apoyado en la base inferior y posteriormente un movimiento vertical de colapso, al deshacerse el apoyo de dicha zona.



**Figura 3.8** Deslizamiento rotacional. Tomado de Manual de Ingeniería de Taludes, pag 18

### 3.2.2.3 Desplazamiento en masa.

#### a. Deslizamientos

Son movimientos ladera abajo de masas de suelo o roca sobre una o varias superficies de rotura, o zonas relativamente delgadas con

intensa deformación de corte, en los que se preserva a grandes rasgos la forma de masa desplazada.

Las superficies pueden coincidir con planos estructurales (deslizamientos traslacionales de rocas o de capas delgadas de suelo), o son inducidas (deslizamientos rotacionales en suelos y/o materiales intermedios).

Dentro de este mecanismo se distinguen los deslizamientos rotacionales y los traslacionales.

#### Deslizamientos rotacionales

El terreno en movimiento experimenta un giro a lo largo de una superficie de rotura curvilínea y cóncava, y según un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa desplazada.

El material de cabecera queda con una inclinación contra ladera, generando depresiones donde se acumula el agua e induciendo nuevas reactivaciones. En el pie, por el contrario, se presentan abombamientos o levantamientos del material con una superficie convexa.



**Figura 3.9** Deslizamiento traslacional. Tomado de Manual de Ingeniería de Taludes, pag 18

Este tipo de deslizamientos suele producirse en suelos cohesivos homogéneos y en macizos intensamente diaclasados. En materiales arcillosos y, sobretodo, si hay presencia de agua, la parte baja deslizante puede evolucionar hacia un deslizamiento de tierras.

#### Deslizamientos traslacionales

Las masas se desplazan a lo largo de una superficie de rotura plana u ondulada, pudiendo deslizar posteriormente sobre la superficie del terreno original y proseguir si la inclinación es suficientemente fuerte. Los componentes de la masa desplazada se mueven inicialmente con la misma velocidad y trayectorias paralelas, pudiendo fragmentarse o disgregarse si posteriormente aumenta su velocidad, derivando en un flujo más que en deslizamiento.

Cuando los bloques de suelo o roca se deslizan sobre una superficie única se suele hablar de deslizamientos planos y cuando la superficie de rotura está formada por dos planos que obligan a la masa de roca desplazarse según la línea de intersección se habla de deslizamiento en cuña.

Las masas rocosas que se desplazan sobre materiales más plásticos en los que se hunden por extrusión de estos y con movimientos muy lentos ladera abajo, se dice que lo hacen por desplazamientos concordantes. Cuando los mismos bloques se trasladan sobre una superficie donde el buzamiento de los estratos no coincide con el de la ladera, el hundimiento es escaso o inexistente y las laderas tienen mayor pendiente, denominándose entonces deslizamientos discordantes.

Los deslizamientos en los que la masa desplazada se trocea en su movimiento y resulta una acumulación caótica de bloques se denomina corrimiento y cuando la rotura por cizalla se produce en suelos no cohesivos con partículas gruesas se llama deslizamiento de derrubios.

#### **b. Reptamientos.**

Movimiento de tipo viscoso sumamente lento (unos pocos centímetros por año), asociado a una deformación continua de terrenos no consolidados o relativamente sueltos, sin rotura o falla del mismo a lo largo de superficies de corte. Afecta principalmente a los depósitos y a los suelos residuales, pero puede presentarse también en rocas.

En el caso de suelos, abarca generalmente grandes extensiones y es difícil de controlar; se asocia con zonas deforestadas o intervenidas de manera inadecuada. Frecuentemente presenta terracetas debidas a pisadas del ganado, lo cual favorece posteriormente otros procesos.

#### **c. Propagación lateral.**

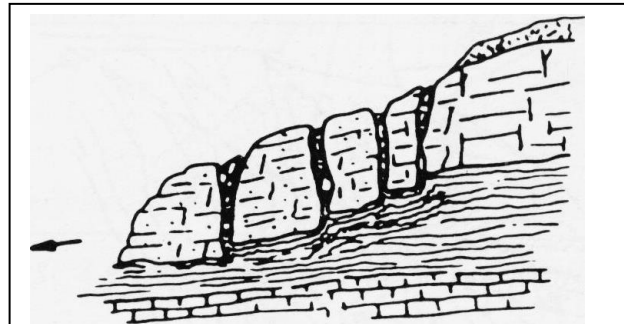
El caso más común corresponde al desplazamiento horizontal de masas duras por flujo plástico o licuación del material subyacente más blando.

#### **d. Escurrimiento.**

Se designa de esta manera al colapso o derrumbe de masas secas o húmedas expuestas en excavaciones viales o semejantes, que se desplazan de manera viscosa, por lo general poco tiempo después del corte.

#### **e. Subsistencia.**

Aunque no se trata de un movimiento que afecte la cara libre de un talud o ladera, es más común de lo que parece. Se trata de desplazamientos verticales del terreno, asociados a remoción o consolidación del material subyacente, por causas diversas.



**Figura 3.10** Propagación lateral. Tomado de Manual de Ingeniería de Taludes, pag 21

### **3.2.3 Transporte en masa**

Son movimientos especialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen vida corta, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. Se identifican varias clases.

#### **a. Flujos.**

Se trata de movimientos de tipo viscoso, la mayoría de los cuales involucra mezclas de agua y materiales sueltos, los cuales se desplazan lenta o rápidamente a lo largo de canales o depresiones naturales o artificiales generalmente angostas, provocando distintos tipos y grados de devastación. Los materiales pueden avanzar desde algunos metros hasta varios cientos de metros. Pueden ser:

#### Flujos de detritos.

Afectan fragmentos de roca de diferente tamaño embebidos en matriz fina, que se movilizan en forma rápida a muy rápida, dependiendo de la pendiente del terreno y del contenido de humedad.

#### Flujos de tierras.

Involucran materiales predominantemente finos, y por su carácter más viscoso, son más lentos que los anteriores.

Estos procesos presentan por lo general tres rasgos característicos morfológicos: una zona de alimentación en la parte superior, correspondiente a la zona denudada que aporta la mayor parte de los materiales desplazados, como consecuencia de desprendimientos u otros movimientos; el canal, correspondiente a la zona deprimida a lo largo de la cual se desplaza el material y el cono de deyección. El canal y el cono pueden estar separados por un cuello angosto. A lo largo de las carreteras es común encontrar estas expresiones, algunas de las cuales se asemejan mucho a un reloj de arena. Los flujos de tierras pueden convertirse en flujos de lodos, por mayor contenido de humedad, movimientos estos últimos extremadamente rápidos.

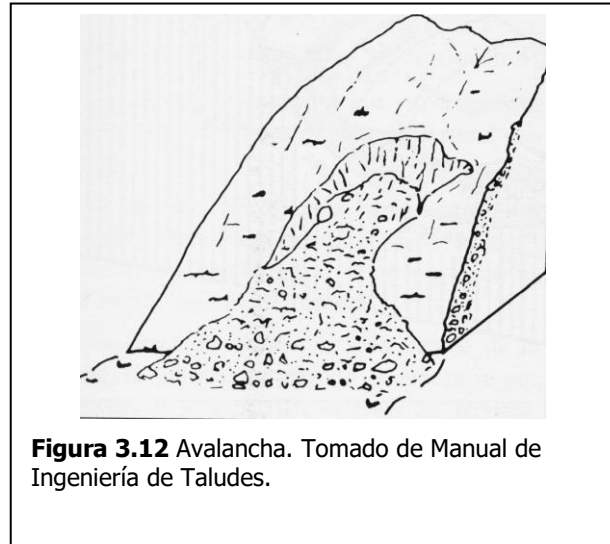
#### b. Avalanchas de rocas y detritos.

Enormes volúmenes de rocas y detritos se desplazan con extraordinaria rapidez a lo largo de hondonadas, aprovechando en parte los cauces naturales.

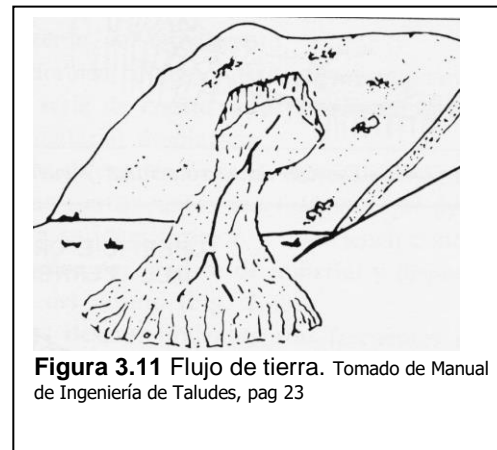
La expresión morfológica de estos procesos es similar a la descrita para los flujos de detritos y tierras.

Según se ha investigado, la enorme velocidad (250 km/h y más) y el gran volumen de material desplazado se atribuye a la fluidificación de las masas involucradas en estos procesos, debido a bolsas de aire que quedan atrapadas entre los fragmentos, favoreciendo una acción de dispersión de las partículas más finas entre los bloques mayores, y provocando un mecanismo de flotación o empuje de los materiales, que reduce la presión efectiva ejercida por los granos y proporciona al mismo tiempo un colchón de aire hacia la base de la zona en movimiento.

**Tabla 3.3.** Clasificación de los movimientos en masa



**Figura 3.12** Avalancha. Tomado de Manual de Ingeniería de Taludes.



**Figura 3.11** Flujo de tierra. Tomado de Manual de Ingeniería de Taludes, pag 23

**CLASIFICACION DE MOVIMIENTOS EN MASA**

<b>ORIGEN Y CLASIFICACION DEL MATERIAL 'IN SITU' PROCESO</b>	<b>Rocas y sus productos de alteración</b>				<b>Depósitos y acumulaciones</b>		
	Roca de Ingeniería		Material intermedio de Ingeniería			Suelo de Ingeniería	
	Roca dura masiva	Roca blanda masiva	Roca triturada	Saprolito	Suelo residual	Depósito fragmento-soportado	Depósito matriz-soportado

**DESPLAZAMIENTO EN MASA <sup>1</sup>**

REPTAMIENTO	En roca	En suelo		En talus	En suelo
DESLIZAMIENTO	Traslacional [Bloques, cuñas]	Rt./Tr.	Tr/Rt	Rotacional/Traslacional	
PROPAGACION LATERAL	En roca				En suelo
DESPRENDIMIENTO	Volcamiento, caída, saltamiento, rodamiento				
ESCURRIMIENTO	Derrumbes o Colapsos				
SUBSIDENCIA	Hundimientos asociados a excavaciones subterráneas o descenso del nivel freático.				

**TRANSPORTE EN MASA <sup>2</sup>**

FLUJO		De Detritos o de Lodos	Detritos, lodos o Tierras
AVALANCHA	De Rocas	De Rocas o Detritos	De Detritos
Material (Varnes)	Rocas	Rocas y Detritos	Detritos y Tierras

J. Montero, 1991.

1.Su comportamiento obedece esencialmente las leyes mecánicas de sólidos

2.Su comportamiento obedece esencialmente las leyes de la hidráulica y la mecánica de fluidos; transición entre la erosión hídrica y los desplazamientos en masa.

**3.2.4 FACTORES Y CAUSAS DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.**

La estabilidad de los taludes y laderas es gobernada por un conjunto de variables topográficas, geológicas, ambientales y antrópicas que determinan la posibilidad de los materiales a movilizarse. En realidad la mayoría de los procesos de inestabilidad se presentan tan pronto como las fuerzas desestabilizantes superan la resistencia de los materiales a desplazarse o ser arrastrados por corrientes.

En los procesos de inestabilidad intervienen tres tipos de factores:

**a. Factores inherentes.**

Relacionados con la composición de los materiales involucrados, la condición de los mismos, las estructuras geológicas y el patrón de flujo de agua. Representan los factores de estado original y constituyen la causa real de la inestabilidad, es decir, la real posibilidad de que puedan presentarse este tipo de procesos. (Tabla 3.4).

#### **b. Factores externos de tipo natural.**

Entre los cuales sobresalen los relativos a los cambios en la condición de los materiales, la influencia directa o indirecta de la lluvia, la humedad del suelo, la actividad sísmica asociada al reactivación de fallas geológicas y la actividad de los volcanes. (Tabla 3.5).

#### **c. Factores externos de tipo antrópico.**

Debido a la intervención del hombre por acciones tales como: la deforestación y el deficiente manejo del suelo, las sobrecargas, y el inadecuado manejo de las aguas en vertimientos y drenajes. (Tabla 3.6). Los factores inherentes se expresan morfológicamente en unidades de terreno con diferente susceptibilidad a fallar o desplazarse y los deslizamientos y otros procesos de inestabilidad, son el resultado de la interacción entre estos factores y los factores externos. Estos últimos actúan como "detonantes", es decir, como factores determinantes de la inestabilidad, activando o reactivando los procesos.

Vale la pena comentar que la mayor parte de los problemas de inestabilidad del terreno, son "detonados" por factores antrópicos, los únicos sobre los cuales es posible ejercer algún tipo de control.

#### **1. d. Tratamiento.**

En la Tabla 3.5 se presentan algunos métodos para prevenir y tratar deslizamientos, teniendo en cuenta si estos se deben a causas naturales o artificiales, y según los tipos de materiales afectados, con base en la experiencia Japonesa. (Manual for Slope Protection, JAPAN ROAD ASSOCIATION, 1984). En esa tabla, (1) corresponde a los métodos más frecuentemente usados, (2) métodos de uso frecuente y (3) los menos usados.

**Tabla 3.4** Factores y causas de la inestabilidad del terreno.

<b>FACTORES DE ESTADO ORIGINAL O CONDICION INICIAL</b>
<b>CONSTITUYEN LA CAUSA REAL DE LA INESTABILIDAD Y SON INMODIFICABLES POR NATURALEZA</b>
<b>Factores relacionados con la composición y fábrica textural</b>
La presencia de los siguientes materiales determina una baja resistencia inicial: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lutitas blandas y desleibles como arcillolita, shale arcilloso, shale lodoso y limolita laminada.</li> <li>- Areniscas y conglomerados poco litificados o pobremente cementados, generalmente de edad terciaria.</li> <li>- Tobas poco soldadas, margas con abundante arcilla o rocas en general con abundante mica.</li> <li>- Rocas metamórficas con abundantes finos como pizarras, filitas y esquistos.</li> <li>- Shales y limolitas laminadas.</li> <li>- Arcillas normalmente consolidadas, loes, materiales orgánicos, suelos volcánicos o arenas sueltas, intercalados con materiales más estables o como materiales predominantes.</li> <li>- Acumulaciones coluviales o de talud; varios depósitos de carácter torrencial de origen coluvial glacial o glaciofluvial, especialmente cuando conforman acumulaciones gruesas expuestas en laderas de fuerte inclinación.</li> <li>- Rocas y minerales solubles como caliza, dolomita, sal o yeso, en capas o masas.</li> </ul>
<b>Factores relacionados con el estado de alteración o degradación mecánica</b>
- Rocas y materiales volcánicos descompuestos en general que inducen la presencia de suelos lateríticos o saprolitos ricos en caolinita, haloisita, gibsita o alofana, minerales éstos, erodables y débiles.

<ul style="list-style-type: none"> <li>- La presencia de otros minerales de alteración: desleibles y fisiles como clorita, sericita, vermiculita y talco; blandos y expansibles como la montmorillonita; solubles como yeso, calcita y dolomita; en masa o como rellenos de diaclasas. En este último caso, cuando no se presenta contacto entre éstas o éste es parcial, su influencia es más significativa inducen también inestabilidad los revestimientos externos de óxido de manganeso en las paredes de las diaclasas o fracturas.</li> <li>- Minerales asociados a metamorfismo dinámico como: cataclasita, milonita y filonita; o rasgos de esfuerzos como superficies pulidas, harina de falla, inducen muy baja resistencia y direccionan las propiedades mecánicas.</li> </ul>
<b>Factores relacionados con la actitud estructural</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discontinuidades estructurales (diaclasas, estratificación, foliación, laminación) desfavorables orientadas en macizos de roca dura o en saprolitos.</li> <li>- Alternancia de capas permeables-impermeables (confinan y direccionan el flujo); capas rígidas-plásticas, (favorece extrusión, flujo plástico o el mecanismo de propagación lateral en capas horizontales).</li> <li>- Actitud estructural regional que favorece la acumulación de agua</li> </ul>
<b>Cambios en el estado inicial de Esfuerzos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cualquier unidad geomórfica constituye un estado transitorio en la evolución del relieve, el cual es modificado constantemente por la acción de los procesos geológicos asociados al clima y a la actividad volcánica y sismo-tectónica, y como consecuencia de la actividad antrópica, correspondientemente el estado de esfuerzo asociado</li> <li>- estado inicial para un instante particular en la evolución de la unidad geomórfica cambia constantemente bajo la influencia de esos procesos y acciones.</li> </ul>

**Tabla 3.5** Factores y causas de la inestabilidad del terreno

<b>II - FACTORES MODIFICADORES NATURALES</b>	
<b>DISMINUYEN EL FACTOR DE SEGURIDAD Y PUEDEN SER DETONANTES O CONTRIBUYENTES REDUCEN RESISTENCIA [RR], INCREMENTAN ESFUERZOS [IE] O PRODUCEN UN EFECTO COMBINADO O COMPLEJO [EC]</b>	
<b>Factores relacionados con la composición de los materiales geológicos</b>	
[IE]-	Las arcillas sobreconsolidadas y los shales expuestos en excavaciones, liberan altos esfuerzos residuales [energía de deformación recuperable], lo cual conduce a un mecanismo de "falla progresiva".
[IE]-	La presencia de arcillas expansivas o el progreso de la descomposición dan lugar a cambios volumétricos que incrementan los esfuerzos internos o favorecen la fisuración y debilitamiento.
<b>Factores relacionados con la degradabilidad de los materiales geológicos</b>	
[RR]-	El incremento en el grado de descomposición de las rocas el cual afecta más a las rocas ígneas y metamórficas básica (ricas en minerales ferro-magnesianos), en ambientes tropicales húmedos.
[RR]-	El desleimiento de lutitas en ambientes húmedos.
<b>Factores relacionados con las estructuras geológicas</b>	
[IE]-	Capas con inclinación muy fuerte hacia el interior de las laderas se deforman por efecto de la gravedad favoreciendo mecanismos de reptamiento y/o volcamiento flexional.
[IE]-	Basculamiento regional que incrementa el ángulo de inclinación de las laderas (muy largo plazo)
[IE]-	En las paredes de los valles abruptos se originan diaclasas de relajación, debidas a alivio por descarga, como consecuencia de la erosión.
<b>Factores relacionados con el ambiente climático-sísmico-tectónico y volcánico</b>	
[EC]-	Múltiples factores debidos a la precipitación y flujo de agua y cambios: de temperatura, el flujo superficial y sub-superficial de agua y los cambios de temperatura, contribuyen a la inestabilidad por: erosión superficial o interna [tubificación] (RR); expansión-contracción térmica asociada al reptamiento estacional (IE); sub-presión o presión de poros negativa

	(RR); incremento en presión hidrostática (IE); ablandamiento (RR); incremento en la descomposición de las rocas y del desleimiento de las lutitas (RR); cambios volumétricos que conllevan la fisuración y el agrietamiento de las lutitas y otras rocas arcillosas (RR); saturación y colapso estructural (RR); disolución y erosión interna que favorece la formación de cavernas [subsidiencias y colapsos] o pérdidas de cohesión debida a las fuerzas de filtración (RR).
[EC]-	Las cargas dinámicas debidas a terremotos, incrementan los esfuerzos de corte actuantes, debido a la aceleración horizontal provocada, detonando muchos deslizamientos; o reducen la resistencia al corte por disminución en la relación de vacíos de algunos suelos, lo cual conlleva excesos de presión de poros, favoreciendo en este caso la licuación. Además de que las erupciones volcánicas constituyen en si mismas fenómenos catastróficos, muchos flujos, avalanchas y deslizamientos de efectos devastadores, ocurren a causa del derretimiento del hielo y nieve en los conos volcánicos.

**Tabla 3.6** Factores y causas de la inestabilidad del terreno

<b>III- FACTORES MODIFICADORES DE ORDEN ANTRÓPICO</b>	
El hombre a través de diferentes actividades no controladas, induce mecanismos detonantes o contribuyentes de inestabilidad como los que se mencionan a continuación:	
<b>[IE] Sobrecargas:</b>	Por apilamiento de escombros de residuos industriales u otros materiales de desecho; botaderos de explanaciones o derrumbes; construcción de estructuras en la parte superior de las laderas o taludes vulnerables o rellenos de cualquier índole en terrenos pendientes.
<b>[IE] Eliminación de Soporte:</b>	Por excavaciones superficiales en la base de las laderas pendientes o sub-superficiales (minería, vías, etc) sin suficiente cobertura lateral o superior.
<b>[EC] Manejo del Drenaje:</b>	Obstrucción o desvío de cauces naturales, fuga de agua desde conductos (túneles, canales), descenso brusco del nivel freático (excavaciones), fluctuaciones en los niveles de los embalses u otros reservorios, bloque de manantiales por escombros u otras causas, carencia en zanjas de coronación (vías) bloqueo de cauces (rellenos sin obras de cruce o deficiente), obstrucción de cauces (botaderos), canalizaciones de cursos de agua hidráulicamente descompensados; puentes o alcantarillados con insuficiente sección para el paso de carga sólida; prácticas de riego por gravedad o disposición incorrecta de sobrantes de agua (lavaderos de café, industrias, otras); carencia o deficiente servicio del alcantarillado de zonas urbanas.
<b>[IE] Sobrecargas Dinámicas:</b>	Por vibración fuerte de equipos, voladuras no controladas, paso del tráfico pesado u otras causas, en sitios vulnerables.
<b>[EC] Coberturas Vegetales:</b>	Deforestación, plantación de cultivos limpios, plantación de cultivos permanentes que agotan el suelo, surcos para siembras en la dirección de la pendiente natural, limpias o deshieras inapropiadas, quemas e incendios forestales, etc.
<b>[EC] Pastoreo:</b>	Excesivo número de animales o pastoreo en laderas pendientes.

[IE] Incrementan esfuerzos, [EC] efecto combinado o complejo.

**Tabla 3.7** Medidas para el tratamiento de deslizamientos

Causa Principal		Tipos de Deslizamiento	Medidas									
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>Infiltración</li> <li>Ascenso N.F.</li> <li>Erosión por corriente en la base.</li> </ul>	• En roca	2	3	1	3	1	2	2	1	1	2
		• En saprolito	1	3	1	3	1	2	2	1	1	2
		• En coluvión arcilloso	1	2	1	3	2	1	1	2	2	3
		• En suelo fino	1	1	2	2	3	1	1	3	3	3
Artificial	• Corte	• En roca	3	3	2	3	1	1	2	1	2	2
		• En saprolito	3	3	2	3	1	1	2	1	2	2
		• En coluvión arcilloso	2	2	2	3	1	1	2	1	2	3
		• En suelo fino	1	1	2	3	3	1	2	2	3	3
	• Relleno	• En coluvión arcilloso	3	3	2	3	3	1	2	1	1	2
		• En suelo fino	3	3	3	3	3	1	2	2	2	3

**Símbolos**

<b>A</b> Drenaje superficial: red integrada de canales y bajantes que se ajusten al caudal por manejar y a las condiciones topográficas.
<b>B</b> Sub-drenaje: sistemas para recolectar y conducir aguas sub- superficiales, como drenajes en "espinazo de pescado" que se instalan en laderas húmedas con escurrimiento sub-superficial de aguas o con empozamientos, o zanjas filtro en la corona o alguna parte del talud de corte.
<b>C</b> Drenaje Profundo: sub-drenes profundos (>4-5-m), drenes horizontales, trincheras filtrantes, pozos o galerías de drenaje o la combinación de estas medidas, para abatir el nivel freático: previamente debe establecerse muy claramente las condiciones de flujo de agua en el terreno.
<b>D</b> Cortinas Impermeables: para cortar y desviar el flujo de agua, evitando su acceso a zonas inestables; deben tenerse muy claramente establecidas las condiciones de flujo, dado que estas medidas son costosas, y podrían resultar inefectivas o aún contraproducentes.
<b>E</b> Remoción de carga activa, escalas o terrazas + protección requerida. Antes debe establecerse muy claramente la distribución de las masas involucradas en el deslizamiento y sopesar la contribución de la medida en el incremento del factor de seguridad. La remoción de carga activa ha mostrado ser efectiva en el caso de deslizamientos rotacionales simples, y debe llevarse a cabo en épocas secas. Se remueve material del tercio superior del talud, en la porción de éste donde la superficie de falla es más inclinada. En algunos casos se justifica remover toda la masa inestable. Se debe acompañar el descargue con medidas apropiadas de protección dentro de la zona tratada.
<b>F</b> Colocación de contrapeso en la pata (puede incluir contención): Es recomendable para controlar cualquier tipo de deslizamiento (rotacional simple o compuesto, translacional etc.) y da mejor resultado entre más suave sea la superficie de falla. Generalmente es necesario acompañar esta medida con subdrenaje, para evitar los efectos de sub-presión que se pueden originar al sobrecargar el terreno húmedo y blando que generalmente conforma la pata e un deslizamiento. Las medidas adicionales pueden consistir en obras de contención en la pata, obras de defensa contra socavamiento de corrientes u otras medidas que se requieran según el caso, incluyendo la protección de las áreas expuestas.
<b>G</b> Estructuras para el manejo de aguas encauzadas: pueden consistir en diques de disipación de energía y encauzamiento, obras de protección de orillas u otras semejantes.
<b>H</b> Pilotes de concreto o acero prefabricados: Son efectivos solo en el caso de deslizamientos de masas delgadas (4-5m) y masas poco activas; sería preferible considerarlos como medidas de tipo preventivo.
<b>I</b> Cortinas de Pilotes o pilares: vinculados con una viga cabezal, empotrados en roca firme, y sostenidos desde su parte superior por tendones de anclaje.
<b>J</b> Anclajes: generalmente como parte de alguna estructura, como en las cortinas de pilotes, las cortinas corridas (vinculados con vigas individuales que se pueden instalar en forma descendente para no exponer excavaciones profundas en sitios inestables), o los muros anclados.
<b>1, 2, 3</b> Orden de prioridad en la selección del tipo de tratamiento.

Con base en Manual for Slope Protection, Japan Road As. (1984)

### 3.2.5 FACTORES DE EROSIÓN HÍDRICA Y SU CONTROL.

Al clasificar y describir los procesos de erosión hídrica, se sugirieron o pueden intuirse algunas medidas de prevención y control de la erosión, medidas que de todas maneras se tratan con mayor profundidad en el capítulo de coberturas vegetales.

En esta parte se mencionan y analizan brevemente los factores a tener en cuenta para la prevención y tratamiento de este tipo de problemas.

#### 3.2.5.1 Erosión hídrica.

La erosión por hídrica es favorecida por varios factores naturales y antrópicos.

##### a. Factores naturales.

Se consideran cuatro factores básicos naturales: la vegetación, el clima, el tipo de suelo y la morfología del terreno, cada uno de los cuales se debe valorar, con el fin de estimar o predecir los efectos inmediatos, así como la pérdida de suelo y el fenómeno consiguiente de sedimentación.

##### La Vegetación

La cobertura vegetal, juega un papel excepcionalmente importante en el control de erosión hídrica, principalmente en la zona tropical húmeda. En el trópico el follaje denso brindado por los árboles, los arbustos y las plantas herbáceas, forman un manto natural que abriga y protege el suelo de la acción de la erosión hídrica acelerada. La deforestación y muchas prácticas incontroladas relacionadas con el uso y manejo del suelo, dan lugar por lo general a procesos más severos de erosión hídrica.

Con base en Gray y Leiser (op.cit) el efecto de la vegetación herbácea y en menor extensión el de la vegetación arbustiva en el control de la erosión hídrica incluye:

- Intercepción de las gotas de lluvia. El follaje y la hojarasca depositada en el suelo disipan la energía cinética de las gotas de lluvia, previenen la compactación del suelo preservando su capacidad de infiltración y fraccionan los caudales que acceden al suelo.
- Barrera. El sistema radical superficial, predominantemente fibroso, amarra y retiene las partículas de suelo, en tanto que el agua infiltrada en las acumulaciones de la hojarasca arrastra los sedimentos finos, evitando que éstos sean transportados por escorrentía.
- Retardo. La hojarasca acumulada en laderas incrementan la rugosidad del terreno, con la consiguiente disminución de la velocidad de las aguas de escorrentía.
- Infiltración. Las raíces finas y los residuos de plantas conservan la porosidad y permeabilidad del suelo.
- Transpiración. La extracción de la humedad del suelo por la actividad fisiológica de la vegetación retarda el estado de saturación y el escurrimiento.

En conjunto la cobertura de árboles, arbustos y plantas herbáceas constituyen un sistema estratificado que protege y fija el suelo, evitando su pérdida por la acción de la erosión.

##### Clima y Erosividad.

Gray y Leiser (op. cit.), proponen la intensidad y duración de la precipitación como los factores climáticos más importantes a tener en cuenta.

Aun las regiones áridas reciben un poco de lluvia durante el año; pero más que la cantidad anual de precipitación, es importante tener en cuenta, si el total de la precipitación anual se concentra en unos pocos aguaceros intensos, condición en la cual la precipitación causa erosión severa, lo que no ocurriría si la misma cantidad de agua cae en forma más continua durante el año.

**Tabla 3.8** Clasificación de erodabilidad de suelo según USCS

	Suelos de grano fino > 50% pasa tamiz # 200				Suelos de grano grueso > 50% retenido tamiz # 200			
	Limos y arcillas				Arenas		Gravas	
	LL >50%		LL <50%			>50% Fracción gruesa pasa tamiz #4		>50% Fracción gruesa retenida en el tamiz #4
1			ML	Limos inorgánicos y Arenas muy finas, Polvo de roca, Arena fina limosa o arcilla de baja plasticidad				
2					SM > SC >	Arenas limosas mezclas de arena y limo mal gradadas. Arenas arcillosas y mezclas mal gradadas de arenas y arcillas.		
3	MH >	Limos inorgánicos Suelos limosos o arenosos finos con mica o con diatomeas Limos plásticos.	OL >	limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad				
4			CL >	Arcillas inorgánicas con plasticidad baja a media; arcillas mezcladas con otras fracciones y arcillas magras.				
5	CH >	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad y arcillas grasas						
6							GM > GP > GW	Gravas limosas, mezclas mal gradadas de grava , arena y limo Gravas mal gradadas, mezclas de arena y grava con pocos finos o sin ellos. Gravas bien gradadas, mezclas de grava y arena con pocos finos o sin ellos

Al analizar el ciclo hidrológico, se encuentra que la mayor parte del agua de precipitación retorna a la atmosfera por evaporación y transpiración. Otra parte es retenida por el suelo o en el follaje de árboles que la interceptan, otra se infiltra y escurre una mínima parte en forma de aguas de escorrentía o sub-superficial, involucrándose a los procesos erosivos. Pero esta última fracción puede incrementarse considerablemente, si dominan suelos poco permeables, si la cobertura vegetal es escasa, o las lluvias se concentran en unas pocas horas.

La mayor parte de las investigaciones relacionadas con las lluvias como detonantes de la erosión y los movimientos en masa, destacan la importancia de dos factores: el efecto de la precipitación aislada y el de la precipitación acumulada.

En nuestro país se ha observado que precipitaciones con intensidades superiores a 50 mm/h o 250 mm/día han provocado daños cuantiosos y dolorosas calamidades por la ocurrencia de avalanchas y descargas torrenciales muy agresivas. (Montero, 1993)

### Erodabilidad

Se conoce como "erodabilidad", la susceptibilidad del suelo a los procesos erosivos. A este respecto se presenta una clasificación, basada en la clasificación Unificada de Suelos USC, la cual se incluye en la Tabla 3.8.

Los suelos presentados en esta tabla pueden agruparse en 6 categorías de erodabilidad, considerándose los de las categorías 1, 2 y 3, mucho más sensibles que los de las 3 categorías restantes.

Gray and Leiser (op. cit.) consideran que la erodabilidad decrece, con el incremento en el contenido de arcilla y de materia orgánica, así como con valores bajos en la relación de vacíos y altos contenidos de humedad natural. Por otro lado se incrementa, con el aumento en la relación de absorción de sodio y el decrecimiento en la resistencia iónica del agua.

## **b. Factores Antrópicos.**

### **El problema general de la erosión acelerada.**

Según se comentó atrás, diferentes actividades y prácticas llevadas a cabo por el hombre aceleran la tasa de erosión, incrementándose así la severidad de los procesos de erosión que hacen parte del ciclo geomorfológico.

Como en el caso de los movimientos en masa, estas actividades y prácticas están comprendidas en cinco tipos de acciones: la deforestación, el manejo inadecuado de suelos de cultivos, el manejo de las aguas deficiente, el sobre-pastoreo y las obras de ingeniería.

### **Erosión en proyectos de carreteras.**

Las carreteras se alojan en franjas relativamente estrechas dentro de una cuenca hidrográfica, por lo cual debe tenerse muy en cuenta su relación con el entorno físico, cuando se programan las medidas destinadas a preservar la estabilidad; en particular el manejo de las aguas y la protección de los suelos de las excavaciones.

En el caso particular de los proyectos de carreteras se presenta una serie de actividades y prácticas que favorecen los procesos de erosión en las diferentes etapas de estos proyectos, y contribuyen de una manera muy significativa al deterioro de las cuencas hidrográficas, debido principalmente a tres factores: el deficiente manejo de las aguas, la falta de protección de los taludes y la inadecuada disposición y manejo de los materiales sobrantes.

A continuación se describen los problemas comunes de erosión en las distintas etapas de un proyecto vial, y se exponen, de manera general, las medidas de prevención y control.

## **1. Diseño y Construcción.**

En la etapa de construcción de una carretera, se introducen varias de modificaciones en el entorno físico, las cuales pueden agruparse así:

- a) Cambios en la geometría de las laderas y de su morfología, debidos principalmente a las actividades de excavación y relleno.

- b) Cambios en el patrón hidráulico e hidrológico en los sitios de cruce de corrientes.
- c) Diversas prácticas inconvenientes, las cuales se comentan adelante, pueden desencadenar o incrementar procesos erosivos.

El carácter, intensidad y frecuencia de los procesos erosivos, debido a los cambios y prácticas referidos, dependen de la interacción de estas acciones con las características del suelo, las condiciones del clima y de los cursos de agua.

Estos procesos afectan tanto a la carretera como su entorno físico, produciendo daños directos e indirectos variados, para evitarlos debe adoptarse una serie de medidas tal como se establece a continuación.

#### a. Taludes de excavaciones.

Las modificaciones geométricas impuestas por los cortes, suponen la exposición de áreas desprovistas de vegetación, la acción del flujo superficial y sub-superficial de aguas de escorrentía, al sol y el viento, y al abatimiento del nivel freático, o la exposición y posible bloqueo posterior de flujos de agua como consecuencia de obstrucción de manantiales por acumulación de escombros.

Las aguas que escurren sobre las laderas incrementan su velocidad en la corona de los taludes de corte, y a menos que se disponga oportunamente de zanjas o barreras que las intercepten, conduzcan y entreguen adecuadamente hacia un sistema de drenaje superficial de la carretera, van a provocar erosión intensa en la cara del talud, si este está conformado por materiales erodables. La erosión será más intensa entre mayor sean la longitud y la pendiente del talud.

Se supone que los taludes a proteger son estables, es decir, que no están involucrados en procesos de movimientos de masa; de otra manera, carecería de sentido su protección. A este respecto es muy conveniente asegurarse que se presenta tal condición, y en los casos de tratamientos especiales, establecer procedimientos de instrumentación y observación del comportamiento que permitan advertir sobre la presencia de fallas de taludes.

No obstante, aún en taludes bien diseñados desde el punto de vista de su estabilidad respecto de procesos de falla, la intervención sobre el flujo sub-superficial produce como efecto inmediato procesos de escurrimientos y deslaves de suelos, los cuales pueden reactivarse en cada período invernal.

A más largo plazo y debido al abatimiento del nivel freático, el talud superior se seca y agrieta, produciéndose desprendimientos, pequeños deslizamientos y flujos, que van creando una ligera concavidad en la parte alta del talud de corte, la cual remata en un pequeño escarpe.



**Figura 3.13** Secado de un talud vertical por déficit hídrico y la falta de protección con vegetación por la imposibilidad de su arraigo y establecimiento (Carlos E Escobar P)

La conformación de taludes que rematen con un contorno redondeado y medidas de establecimiento de vegetación, acompañadas de prácticas de manejo de arvenses en la zona superior adyacente a los cortes, pueden controlar o reducir sustancialmente los problemas de agrietamiento e inestabilidad de suelos en la parte superior de los taludes de corte, originados por la deshidratación del suelo inducida por el abatimiento del nivel freático y la acción de los vientos y las temperaturas altas que inciden en el suelo.

Con respecto a la protección de los taludes se consideran las siguientes actividades y/o prácticas: Sembrar vegetación de arbustos y arvenses para proteger y reforzar el suelo, prevenir el impacto de la lluvia, controlar la infiltración y retardar la escorrentía. Sembrar árboles y arbustos en el pie de algunos taludes para incorporar refuerzo mecánico especial.

La selección de las especies y las prácticas vegetativas que se adopten, deberán estar precedidas de cuidadosos estudios sobre las especies nativas o adaptables y la realización de prácticas demostrativas, cuyo seguimiento permite optimizar este tipo de medidas.

### **b. Taludes de terraplenes.**

Los suelos de la cara de los terraplenes quedan expuestos a la erosión por lo cual se hace necesario protegerlos con coberturas vegetales de arbustos y arvenses o mediante el establecimiento de pastos que son especies vegetales de rápido crecimiento y cubrimiento del suelo.

Adopción de medidas complementarias como la instalación de canales, para la conservación de las pendientes y de las áreas planas con suelos expuestos.

### **c. Cruces de corrientes.**

Se considera el pondeo de cauces torrenciales en procesos de socavación de fondo, en zonas montañosas y el cruce de cauces mayores o su alineamiento cerca de la vía.

En el primer caso es muchas veces necesario construir diques de consolidación que permiten la fijación de los sedimentos, la corrección torrencial y las condiciones para el arraigo de la vegetación riparia. En otros casos los muros de encauzamiento y las protecciones de orilla son soluciones adecuadas para prevenir un proceso de erosión lateral y de fondo.

En el caso de corrientes mayores, el cauce debe ser razonablemente estable en los sitios de pondeo. Pese a ello, debe prevenirse el socavamiento lateral y de fondo que pueda afectar la vía o las estructuras fundadas en el lecho o sus orillas.

Tanto en el caso de los cauces torrenciales como en los cauces mayores, la protección de sus orillas se debe complementar con el establecimiento de barreras vivas de cañas y árboles, combinadas con otras prácticas de establecimiento de vegetación.

### **d. Mantenimiento**

Los taludes protegidos durante la construcción van a sufrir deterioro después de algunos años. En algunos casos se presentarán fallas de taludes, lo cual requiere la programación y ejecución de obras de reconstrucción y recuperación.

Las medidas de mantenimiento pueden consistir en:

Adecuadas prácticas de poda y manejos silviculturales de la vegetación.

Reposición de coberturas.

Aplicación de fertilizantes.

Reposición de estructuras deterioradas.

Si la instrumentación revela signos de deformación o falla, debe establecerse el grado de peligro y hacer los correctivos necesarios a nivel de las estructuras.

En el caso de fallas mayores éstas deben controlarse previamente a la nueva protección de los taludes.

Inspección periódica del estado de las obras de corrección torrencial, protección de orillas y protección de fundaciones es de vital importancia dentro de los programas de prevención de daños a estructuras y vías.

#### **e. Prácticas y acciones que inducen erosión.**

Ya se mencionó como durante la construcción de carreteras se llevan a cabo algunas prácticas inconvenientes que desencadenan procesos erosivos. Se mencionan a continuación algunas de estas prácticas y otras acciones que frecuentemente motivan este tipo de problemas, las cuales se sugiere tener en cuenta dentro de las tareas preventivas que se programan para reducir los problemas de inestabilidad.

Disposición desordenada de sobrantes que se arrojan lateralmente en las explanaciones; estos escombros arrasan por lo general la vegetación y la cobertura orgánica, obstruyen los drenajes naturales y quedan expuestos a proceso erosivos o desplazamientos.

Carencia de zanjas de coronación en los taludes de corte y de obras de entrega en las alcantarillas.

Apilamiento de escombros de derrumbes en las bermas, los cuales se erosionan produciendo obstrucción y contaminación de fuentes de agua, y ocasionan otros daños.

Desaprovechamiento de la capa orgánica y del material vegetal en los desmontes y explanaciones, materiales que deben reutilizarse para proteger los taludes.

Obstrucción de cursos de agua con materiales de desecho.

Desvío intencional de cursos de agua en los cruces de corriente, para simplificar la construcción de obras de cruce.

Drenaje deficiente en caminos industriales o desvíos temporales.

Abandono de canteras sin que previamente se realicen obras mínimas de restauración, principalmente obras de drenaje y encauzamiento de aguas.

### **3.3 INVESTIGACIÓN DE DETALLE.**

La investigación de detalle es complementaria con la investigación a gran escala. Una investigación detallada siempre tiene menor extensión en área, pero se realiza con mayor profundidad y detalle, tendiendo a la comprensión de los fenómenos que influyen en la estabilidad de un talud.

A través de una serie de técnicas de investigación y ensayos se busca definir con precisión los distintos parámetros que rigen el comportamiento de rocas y suelos. La figura 3.14 presenta un esquema significativo de la investigación de detalle.

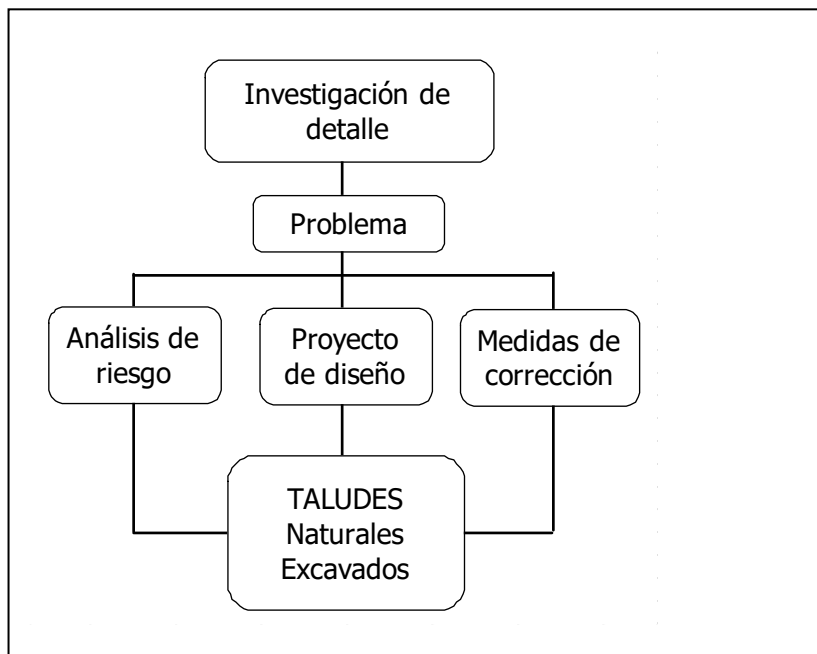
En la actualidad se desarrollan una serie de técnicas que permiten optimizar el uso de los resultados, originados en las tareas de investigación.

La teoría Geoestadística es una de las herramientas más empleadas. Según G. MATHERON, "La Geoestadística es la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales".

La gran cantidad de información geológico-geotécnica relativa a la investigación y análisis de la estabilidad de taludes pone de manifiesto la necesidad de recopilación de datos y su mecanización.

Actualmente el almacenamiento de los datos requiere el uso de sistemas informáticos.

El tratamiento de la información necesita una etapa previa para su adquisición y análisis. Se llega así a una sistematización de las variables que definen la organización de un banco de datos.



los parámetros característicos que rigen su comportamiento.

### 3.3.1 Finalidad y alcance de la investigación

Todas las fases de investigación han de desarrollarse para obtener el mejor conocimiento posible de las características resistentes del terreno. A partir del conocimiento se pueden obtener una serie de datos que permiten deducir la respuesta del terreno a través del tiempo o ante una obra determinada.

La investigación ha de permitir la discretización del terreno en zonas homogéneas, determinando los valores de

### 3.3.2 Métodos de investigación

Tienen como objetivo inmediato proporcionar la información necesaria para prever el comportamiento de los materiales que forman el terreno.

Pueden enfocarse a lograr el análisis de estabilidad de taludes naturales, el diseño de cortes nuevos y de terraplenes, o hacia la elaboración de hipótesis de rotura de un talud, para adecuar las labores más idóneas en su corrección.

En este apartado se pretenden recoger los métodos y medios de investigación más usuales en la determinación de los fenómenos de inestabilidad de taludes.

### **a. Apiques, calicatas y Pozos**

Normalmente se realizan en terrenos relativamente fáciles de excavar. Se pueden realizar de forma manual, mediante maquinaria de excavación (retroexcavadora, etc.) o empleando grandes barrenas.

Sus dimensiones dependen de la amplitud de la información deseada, limitándose su operación por factores de seguridad u operatividad de la maquinaria empleada.

Permiten una observación in situ del material, así como la toma de muestras inalteradas y medidas.

En el reconocimiento de las calicatas y pozos se ha de registrar en los formatos los detalles suficientes como la profundidad de los diferentes niveles o capas, la litología y su descripción, la revisión de un plano de falla, la estructura del material, la toma de muestras, etc. La figura 3.15 presenta la construcción de un pozo o apique de exploración.

### **b. Sondeos manuales, mecánicos y penetraciones**

Constituyen los métodos más ampliamente utilizados.

#### **Sondeos manuales.**

Se realizan con la ayuda de barrenos de cuchara o helicoidales, herramientas que se conectan a un varillaje de extensión que permite profundizar la exploración. Con el avance de la perforación manual se toman muestras alteradas, obtenidas en la herramienta de perforación. Se pueden tomar muestras inalteradas en un muestreador de tubo de pared delgada o tubo shelly, para realizar los ensayos de suelo en laboratorio.

#### **Sondeos mecánicos**

Se realizan mediante sondas montadas sobre vehículos o de forma autónoma. Generalmente los sondeos se dividen en dos grupos: percusión y rotación, según el procedimiento utilizado en la perforación.

Los sondeos permiten el reconocimiento del terreno a lo largo de su profundidad –caso de testificación continua-, la posibilidad de tomar muestras a diferentes profundidades para determinar las características del material en ensayos posteriores e incluso realizar otro tipo de ensayos en el interior de la perforación.

#### **Penetrómetros**

Son aparatos capaces de introducir una punta en el terreno mediante golpes o por empuje. Su objeto es medir la resistencia a la penetración a lo largo de una profundidad deseada. Según la



**Figura 3.15** Construcción de un apique o pozo.

forma de introducirlos en el terreno se dividen en dinámicos y estáticos. Existen diversos tipos de penetrómetros de los que se describen los utilizados más frecuentemente.

El ensayo de penetración estándar (SPT) constituye el penetrómetro dinámico abierto de uso más extendido. Se asemeja a una toma muestras de tubo bipartido, pero de diámetro inferior.

La resistencia del suelo a la penetración se mide por el número de golpes, N, necesarios para hincar el SPT a 30 cm.

### **c. Métodos geofísicos**

Estudian la distribución en profundidad de alguna determinada propiedad físico-química de las capas del terreno, o de alguna característica relacionada con dichas propiedades.

Son de gran utilidad para la resolución de estructuras geológicas y como ayuda al conocimiento de las características mecánicas de suelos y rocas.

#### **Geofísica de superficie**

Los métodos de geofísica más usuales realizados sobre la superficie del terreno son sísmicos y eléctricos, sin considerar aquellos métodos de testificación geofísica que se utilizan solo en ocasiones especiales.

##### **· Geofísica sísmica**

Se basa en el análisis de la propagación de las ondas elásticas a través del terreno. Estas se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Ondas elásticas internas.
- Ondas elásticas superficiales.

#### **Sísmica de reflexión**

Determina los tiempos de llegada de las ondas reflejadas en las superficies de separación de los medios de diferentes velocidades de propagación.

##### **· Geofísica eléctrica**

Se basa en el estudio de los campos de potencial eléctrico provocados artificialmente, de cuya deformación pueden deducirse conclusiones sobre las características geológicas del suelo.

Se utiliza, tanto corriente continua como alterna, preferentemente de frecuencias muy bajas. Esto se debe a que la profundidad de penetración disminuye rápidamente, a medida que aumenta la frecuencia.

La principal ventaja de los métodos eléctricos es el costo reducido.

El método se basa en las diferentes propiedades eléctricas de las rocas: resistividad, conductividad, etc.

### **d. Ensayos in situ**

Tienen como objeto estimar las características mecánicas o hidrogeológicas del terreno. Suelen ser muy costosos, cuando son a gran escala y tienen un carácter puntual. Con frecuencia la pequeña porción de terreno a que afectan plantea difíciles problemas de interpretación para extrapolar sus resultados a la escala real. Sin embargo son los únicos que ofrecen garantías respecto al carácter inalterado del terreno ensayado.

### Medios rocosos

Los macizos rocosos son conjuntos heterogéneos y generalmente discontinuos, lo que implica que la escala de un experimento determina los resultados del mismo.

Los ensayos que se describen a continuación son los de uso más extendido, debido a que los aparatos necesarios para su realización son fácilmente transportables.

### Martillo Schmidt (Esclerómetro)

Ideado en un principio para estimar la resistencia a compresión simple del hormigón, se ha modificado convenientemente dando lugar a varios modelos, tipo L, N, P, etc., alguno de los cuales está apropiado para estimar la resistencia a compresión simple de la roca.

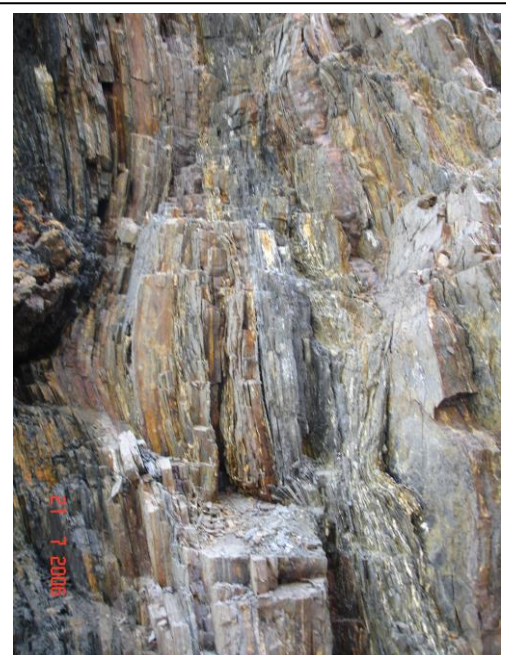
### 3.3.3 Descripción geomecánica de medios rocosos

El comportamiento de los macizos rocosos puede deducirse del análisis de los datos suministrados por una amplia y costosa campaña de investigación. No obstante, las características geotécnicas de un macizo rocoso pueden estimarse con los diferentes tipos de clasificaciones mecánicas, de gran desarrollo en los últimos años.

Dichas clasificaciones permiten discretizar una serie de sectores, dentro de un medio rocoso, que facilite el diseño de posteriores labores de investigación.

Una completa descripción geomecánica de un macizo rocoso pretende una estimación de sus características mecánicas mediante determinados índices de calidad.

Estos métodos empíricos proporcionan una valiosa información, cuyo valor depende principalmente de la experiencia y criterio de la persona que los utilice.



**Figura 3.16.** Macizo rocoso que conforma la pared del cauce de la cárcava El Tablazo está muy alterado, estado que se identifica por su diaclasado, estado de relajación y plegamiento de su estructura. (Carlos E Escobar P.)

### a. Clasificaciones geomecánicas

Las clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos tienen aplicación en el análisis del comportamiento de los taludes. Se basan en la cuantificación de determinados parámetros que influyen en la estabilidad de los taludes, obteniéndose una serie de índices de calidad. Estos permiten la aplicación de fórmulas empíricas, que estiman las características resistentes de los macizos rocosos.

Dichos macizos también pueden clasificarse de forma cualitativa, dando una estimación de su comportamiento.

### Tipos de clasificaciones

Las primeras clasificaciones se basaban en descripciones cualitativas, que de forma empírica establecían diversos comportamientos de los macizos rocosos.

Actualmente los sistemas de clasificación intentan obtener índices cuantitativos de la calidad de la roca, establecidos en base a una serie de parámetros, que contemplan la resistencia de la roca matriz, disposición y estado de las discontinuidades y presencia de agua.

Unas clasificaciones se diferencian de otras según el número de parámetros considerados y la valoración que les asigna cada autor. De todas las clasificaciones existentes se describe a continuación la de BIENIAWSKI por ser una de las más aplicadas en la práctica y por tener utilización directa en taludes.

La clasificación geomecánica de BIENIAWSKI, obtiene un índice de calidad denominado "Rock Mass Rating" (RMR), que depende de:

- La resistencia de la roca matriz
- Las condiciones de diaclasado
- El efecto del agua
- La posición relativa del diaclasado respecto a la excavación.

Para tener en cuenta la incidencia de estos factores se definen una serie de parámetros con determinados valores, cuya suma proporciona el índice de calidad RMR. Este varía entre 15 y 100.

En función del valor RMR, se clasifican las rocas en cinco categorías diferentes. También proporciona valores estimativos de la cohesión y ángulo de rozamiento interno del macizo rocoso que pueden ser útiles especialmente en rocas de mala calidad con roturas de tipo curvo y permite la estimación del módulo de deformación del macizo,  $E_M$ , mediante la correlación:

$$E_M (GPa) = 1,75RMR - 85$$

Se describen diez parámetros seleccionados para definir sus características:

#### 1. Orientación (rumbo)

Posición de la discontinuidad en el espacio. Definida por la dirección de buzamiento de la línea máxima pendiente en el plano de la discontinuidad.

#### 2. Espaciamiento

Distancia perpendicular entre dos discontinuidades adyacentes. Normalmente se refiere al espaciamiento medio de una familia de discontinuidades.

#### 3. Continuidad

Extensión superficial de una determinada discontinuidad en un plano imaginario que la contenga.

#### 4. Rugosidad

Conjunto de irregularidades de diferentes órdenes de magnitud (asperezas, ondulaciones), que componen la superficie de las paredes de una discontinuidad.

#### 5. Resistencia de la discontinuidad

Resistencia a la compresión de la superficie de discontinuidad. Puede ser más baja que la resistencia de la roca matriz a causa de la meteorización de la misma.

#### 6. Apertura

Distancia perpendicular entre las paredes de una discontinuidad.

#### 7. Relleno

Material que separa las paredes de una discontinuidad, normalmente más débil que la roca matriz.

#### 8. Filtración

Flujo de agua y humedad libre visible en discontinuidades o en la totalidad de la roca.

#### 9. El número de familias

Comprende el sistema de discontinuidades del medio rocoso.

#### 10. Tamaño del bloque

Dimensiones del bloque de roca resultante de la mutua orientación y espaciado de las familias de discontinuidades.

### b. Descripción geotécnica básica.

Constituye una caracterización geomecánica del terreno, basada en la observación directa del mismo.

Proporciona de forma sistemática y racional la toma de los datos necesarios y su interpretación, según recomienda la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (1980). Los aspectos que se tienen en cuenta para estimar el comportamiento geomecánico de un terreno son los siguientes:

- Nombre de la roca o suelo, con una descripción geológica somera.
- Características estructurales y mecánicas del macizo rocoso, como son espesor de los estratos y características de las discontinuidades. En el caso de los suelos, sus características de deformación y resistencia, así como el espesor de las capas.
- Estado del macizo estudiado. En este caso se estudió el grado de meteorización, presencia de agua, descripción del entorno, entre otros.

Para su aplicación se efectúa en primer lugar una zonificación del dominio estructural en unidades geotécnicas, cuyas características sean uniformes o similares.

### 3.3.4 Ensayos de laboratorio.

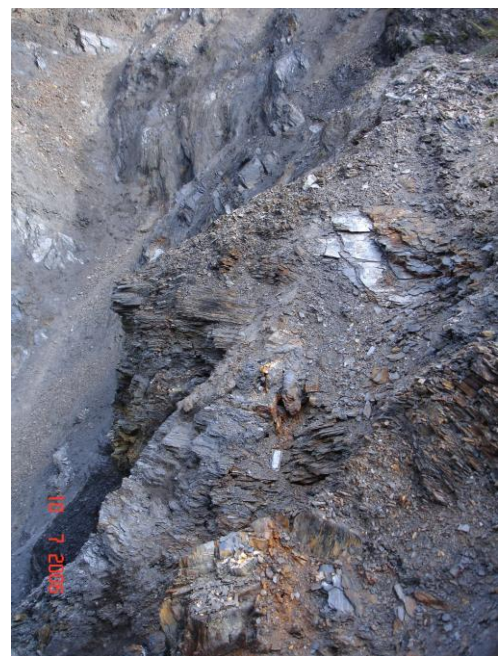


Figura 3.17 Alteración de una roca metamórfica. (Carlos E Escobar).

Con estos se determinan algunos parámetros que influyen en la estabilidad de los taludes. Resulta un instrumento necesario para comprender, interpretar y explorar los resultados de los ensayos in situ.

El éxito de los ensayos mecánicos e hidráulicos de laboratorio depende de la calidad de las muestras inalteradas que se obtienen en campo.

### 3.3.4.1 Ensayos en roca.

Se trata de determinar las propiedades geomecánicas de la roca matriz mediante el ensayo de muestras de roca, talladas de testigos de sondeos o bloques irregulares. Una vez determinadas las características resistentes de la roca se pueden adoptar los diferentes criterios de rotura, que permitan controlar las características de respuesta del macizo rocoso, frente a diferentes escenarios.

#### a) Identificación y estado.

Proporciona el conocimiento de la naturaleza de la roca y su estado natural aparente. A partir del reconocimiento visual se pueden establecer zonas representativas de la roca, haciendo una selección de las mismas para la aplicación de técnicas de ensayos sofisticados.

**Tabla 3.9** Ensayos de identificación y estado. (EPTISA, 1981)

Tipo	Observación
Reconocimiento visual	Grado de meteorización, discontinuidades, zonas de oxidación, entre otros
Microscopía petrográfica de polarización	Naturaleza mineralógica, textura, orientaciones, entre otros.
Microscopía eléctrica de Scanning.	Microfisuras, orientaciones preferentes de los cristales, meteorización, entre otros.

#### b) Alterabilidad.

Con ellos se busca reproducir los posibles procesos de alteración que sufren las rocas, por la meteorización.

#### c) Resistencia y deformación.

Las características resistentes de las rocas se determinan mediante una serie de ensayos que permiten determinar el límite máximo de esfuerzos que pueden soportar la roca bajo determinadas condiciones.

- *Ensayo de resistencia a la compresión simple.* Se comprime una probeta cilíndrica por su eje vertical. La probeta tiene una relación longitud/diámetro entre 2 y 2,50, el ensayo se puede realizar con o sin medida de la deformación. Otra variable que influye en el ensayo es la velocidad de carga y las condiciones de borde de la muestra.

**Tabla 3.10** Resistencia de la roca a la compresión simple. (Jiménez Salas, 1975)

Resistencia de la roca	$\sigma_c$ (Kp/cm <sup>2</sup> )
Muy baja	< 50
Baja	50 – 200
Media	200 – 1000
Alta	1000 – 2000
Muy alta	> 2000

- *Ensayo brasileño*. Se ensaya una probeta cilíndrica, cuya altura H puede ser pequeña respecto al diámetro, (entre 0,5 y 1,0) y se carga a lo largo de dos generatrices opuestas. La resistencia a la tracción,  $\sigma_t$ , se expresa como.

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi DH} \quad (3.2)$$

En donde.

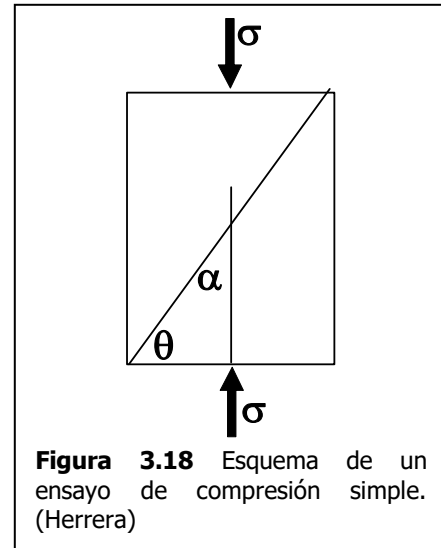
- P= Carga total de rotura
- D= Diámetro de la probeta
- H= Altura de la probeta

Ese ensayo es utilizado para clasificar las rocas según la resistencia a la tracción de las mismas. La tabla 3.11 presenta la resistencia según Fourmaintraux y de Deere & Millar.

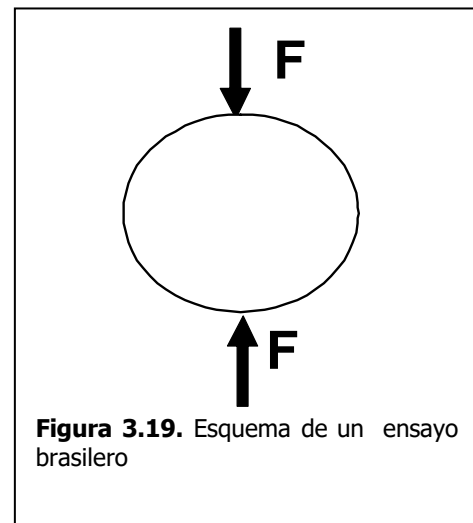
**Tabla 3.11** Valores de la resistencia por el método brasileiro.

FOURMAINTRAUX (1976)	
Resistencia	$\sigma_t$ (Kp/cm <sup>2</sup> )
Muy Alta	> 300
Alta	100 – 300
Media	50 – 100
Débil	20 – 50
Muy débil	0 - 20

DEERE & MILLER (1978)	
Resistencia	$\sigma_t$ (Kp/cm <sup>2</sup> )
Muy débil	0 – 15
Débil	15 – 35
Media	35 - 65
Alta	65 – 100
Muy Alta	> 100



**Figura 3.18** Esquema de un ensayo de compresión simple. (Herrera)



**Figura 3.19.** Esquema de un ensayo brasileiro

- *Ensayo de corte directo.* Se realiza sobre las superficies de discontinuidad y su objetivo es determinar los parámetros de cohesión y el ángulo de rozamiento interno. La muestra se ensaya con diferentes esfuerzos normales,  $\sigma_n$ , y se obtiene el esfuerzo cortante,  $\tau$ , en función del  $\sigma_n$ , para un mismo material. En los ensayos sobre las probetas se obtienen los valores de los esfuerzos cortantes y desplazamientos, máximos y residuales, contra los esfuerzos normales y de ellos se obtienen los parámetros de la cohesión "c" y ángulo de fricción " $\phi$ ".

### 3.3.4.2 Ensayos en suelo.

Los suelos constituyen un sistema discontinuo con diferentes fases (sólido, líquido, gas). El estudio de las relaciones de fase, la morfología y el tamaño de las partículas contribuye al conocimiento de las características mecánicas de los suelos.

Los ensayos sobre muestras inalteradas constituyen el medio más eficaz para conocer las distintas propiedades de los mismos y evaluar su comportamiento. Los procedimientos usados en los ensayos se hallan regulados por normas que permiten la homologación de los resultados.

#### a. Identificación.

De los ensayos de identificación no se obtienen índices que expresan las propiedades mecánicas de los suelos pero sirven para clasificarlos en grupos de comportamientos semejantes. Estos ensayos se realizan con frecuencia y su utilidad se presenta en la tabla 3.12. La clasificación más acostumbrada en la geotecnia es el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

**Tabla 3.12.** Ensayos de identificación de suelos.

Tipo	Finalidad
Descripción de la muestra	Basada en el tamaño de partículas, textura, color, humedad, etc. Es una etapa previa para realizar otros ensayos.
Granulometría	Basada en técnicas de tamizado y de sedimentación, proporcionan el porcentaje del tamaño de las partículas y su distribución en una muestra de material.
Límites de Atterberg	Líquido, Plástico, Retracción. Marcan las fronteras en los estados sólido, semisólido, plástico y semilíquido.
Contenido de: Carbonatos	Permite estudiar el grado de rigidización, erosionabilidad, etc.
Sulfatos	Proporciona una estimación de la agresividad del terreno.
Materia orgánica	Permite determinar el origen y la deformabilidad de un suelo.
Gravedad específica de los materiales	Permite determinar propiedades como el volumen de sólidos, el peso unitario, la relación de vacíos, entre otros.
Peso unitario	Permite determinar los rangos de peso y volumen que puede alcanzar el suelo.

**b. Composición química y mineralógica**

Permiten determinar el tipo de materiales arcillosos, la capacidad de cambio de cationes y estructura de la partícula, permitiendo la estimación del comportamiento del suelo. Proporcionan información sobre las características de plasticidad, expansividad, deformabilidad, dispersabilidad, de los suelos.

**c. Estado natural.**

Se refiere a la densidad y humedad que presenta el suelo in situ.

**d. Deformabilidad.**

El ensayo más común es el de consolidación unidimensional, donde se aplica una serie de presiones verticales sobre una muestra confinada en un anillo, impidiendo la deformación en sentido horizontal. La deformación axial es proporcional a la deformación volumétrica.

El ensayo se realiza con ciclos de carga y descarga, proporcionando el cálculo de los asentamientos y su evolución en el tiempo. Los resultados de estos ensayos se representan en gráficas deformación – tiempo, y esfuerzo vertical – deformación.

**e. Resistencia.**

Los diversos ensayos permiten la posibilidad de solicitar las probetas con diferentes estados de presión de confinamiento. Esta posibilidad es de gran importancia en la determinación de las propiedades resistentes de los suelos, conformados por una acumulación de sedimentos, ya que estos tienden a rigidizarse por efecto de la presión de confinamiento.

- *Ensayo de compresión simple.* Consiste en someter a una probeta de suelo a una compresión uniaxial no confinada. Como el ensayo se realiza en forma rápida, se considera un ensayo de rotura sin drenaje, especialmente en suelos arcillosos. En suelos saturados la cohesión se puede estimar como la mitad de la resistencia a la compresión simple. La tabla 3.13 presenta una clasificación de suelos cohesivos atendiendo los valores de resistencia a la compresión simple.

**Tabla 3.13.** Clasificación de suelos cohesivos a partir de los valores de compresión simple (Terzaghi y Peck, 1995)

Consistencia del suelo	$q_u$ (Kp/cm <sup>2</sup> )
Muy blanda	< 0,25
Blanda	0,25 – 0,50
Media	0,50 – 1,00
Firme	1,00 – 2,00
Muy firme	2,00 – 4,00
Dura	> 4,00

- Ensayo triaxial. Es la prueba más versátil para determinar las propiedades esfuerzo deformación de los suelos. En el ensayo se aplica una presión de confinamiento sobre el contorno de la probeta y un esfuerzo desviador en su eje. En el ensayo clásico se mantiene la presión lateral constante y se

aumenta la presión vertical hasta llegar a la falla. Con el ensayo se pueden obtener los parámetros de cohesión y ángulo de fricción en términos efectivos (drenado) y totales (No drenado).

- *Ensayo de corte directo.* Este ensayo consiste en una caja que permite la falla del suelo por un plano medio. En cada espécimen se aplica una carga vertical y otra carga tangencial hasta obtener la falla. Se registran las fuerzas tangenciales y las deformaciones de cada ensayo, y el cambio de espesor de la muestra (dilatancia). Este ensayo permite determinar la cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo en el plano de rotura, con o sin drenaje.

*Ensayo de veleta.* Es un ensayo que permite determinar la resistencia al corte sin drenaje en suelos limosos y arcillosos. Se emplea in situ. La resistencia al corte se determina a partir del momento de torsión que se necesita para fallar el terreno a través de las aristas de la veleta.

### 3.4 El Riesgo

Es mucho más barato prevenir que curar. Veamos en costos la máxima: de la prevención al desastre hay un orden de diferencia y del desastre a su recuperación hay otro orden; por lo tanto de la prevención a la recuperación del desastre la diferencia es de dos órdenes:

**Riesgo:** Posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un fenómeno dañino dentro de un período de tiempo y con una probabilidad determinada.

**Amenaza:** Evento o fenómeno perjudicial con un cierto nivel de magnitud y alcance espacial, que tiene una probabilidad de ocurrencia significativa en un período de tiempo dado.

La probabilidad será cualitativa si decimos que es alta o baja, o será cuantitativa si le señalamos al evento su frecuencia temporal.

La relación entre amenaza y riesgo se establece por medio de la expresión:

$$\mathbf{Riesgo = Amenaza \times Vulnerabilidad}$$

Siendo la vulnerabilidad el factor de riesgo que tiene en cuenta la resistencia o fragilidad de las personas y de los bienes expuestos. Por lo tanto:

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Exposición/Resistencia}$$

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \times \text{Exposición/Resistencia}$$

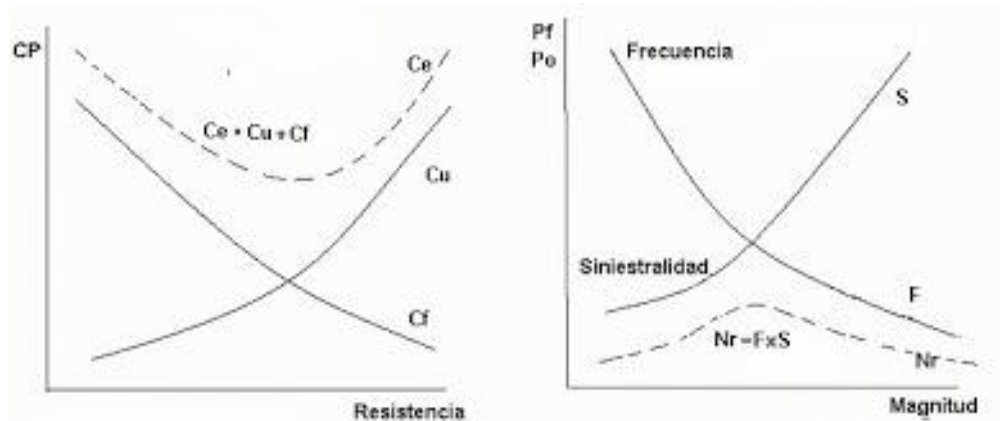
La vulnerabilidad puede ser física, cultural y socioeconómica. El riesgo puede ser directo o indirecto, o de otros ordenes, según la amenaza sea natural, antropogénica o tecnológica. La

amenaza depende del evento detonante, y de su grado de susceptibilidad, como de la energía potencial que lo caracteriza, razón por la cual se puede escribir:

$$\text{Amenaza} = \text{Detonante} \times \text{Susceptibilidad} \times \text{Potencial}$$

$$\text{Riesgo} = \text{Detonante} \times \text{Susceptibilidad} \times \text{Potencial} \times \text{Exposición/Resistencia}$$

En el riesgo por deslizamientos podemos incidir sobre la amenaza, pero en el riesgo sísmico sólo queda la alternativa de intervenir la vulnerabilidad. En el riesgo volcánico podemos incidir sobre la exposición (evacuación temporal o definitiva) y en el riesgo sísmico normalmente intervenimos la fragilidad (parámetros de sismo-resistencia y seguridad ignífuga).



*Imagen 3.4.1: Costos y nivel de riesgo. Izquierda, Costo Probable de falla CP. Derecha, nivel de riesgo Nr.*

– Estudio del riesgo: evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y del riesgo. En la figura 1 derecha, la función que relaciona la probabilidad de falla  $P_f$  con la magnitud de un evento, alude a su grado de siniestralidad  $S$ , y la que relaciona la probabilidad de ocurrencia  $P_o$  con la magnitud de un evento, alude a la frecuencia probable del fenómeno  $F$ .

La primera función ( $S$ ) expresa la curva de daños cuya pendiente es positiva, y la segunda función ( $F$ ), la curva de ocurrencia cuya pendiente es negativa. El producto de ambas da el nivel de riesgo del evento  $N_r$  que gráficamente se representa por una campana cuyo máximo coincide con la intersección de las dos curvas anteriores,  $S$  y  $F$ .

- Medidas: sistemas de observación y alarmas, reducción de la exposición, reducción de la amenaza, incremento de la resistencia, y jerarquización de prioridades y estudios.
- Estudios económicos (Ver figura 1 izquierda): análisis de las funciones de costo esperado  $C_e$ , que es la suma del costo usual (curva  $C_u$ ) y el costo de falla (curva  $C_f$ ).

El costo de falla  $C_f$  involucra pérdidas, reposición, interrupción, lucro cesante y efectos sociales; el costo usual  $C_u$  involucra estudios, control, construcción y mantenimiento. La suma de ambas funciones es una parábola ( $C_e$ ) cuyo mínimo coincide con la intersección de ambas funciones.

#### Ordenes de las amenazas naturales

- Primer orden: sismos, huracanes, volcanes y lluvias.
- Segundo orden: deslizamientos, maremotos, inundaciones.
- Tercer orden: aludes y avalanchas.

#### Valoración del Riesgo en función del período de las Amenazas y la vida útil de una obra

$$R=1-(1-1/Tr)^n$$

En la fórmula precedente:

R =Riesgo de falla,

Tr= Período de retorno de las amenazas y

n= vida útil de una obra.

Veamos el plotéo de valores para el riesgo R, en función del período de retorno de la amenaza y de la vida útil de una obra, estimando R para Tr y n dados en años.

Valores de R		n= Vida útil de una obra							
		Años	10	25	50	100	250	500	1000
<b>Tr=</b> Período de retorno de la amenaza	10		0,65	0,93	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
	25		0,34	0,64	0,87	0,98	1,00	1,00	1,00
	50		0,18	0,40	0,64	0,87	0,99	1,00	1,00
	100		0,10	0,22	0,39	0,63	0,92	0,99	1,00
	250		0,04	0,10	0,18	0,33	0,63	0,87	0,98
	500		0,02	0,05	0,10	0,18	0,39	0,63	0,86
	1000		0,01	0,02	0,05	0,10	0,22	0,39	0,63

Tabla 3.4.1: Riesgo v.s. Período de retorno y Vida útil. Fuente: [www.bdigital.unal.edu.co/6497/](http://www.bdigital.unal.edu.co/6497/)

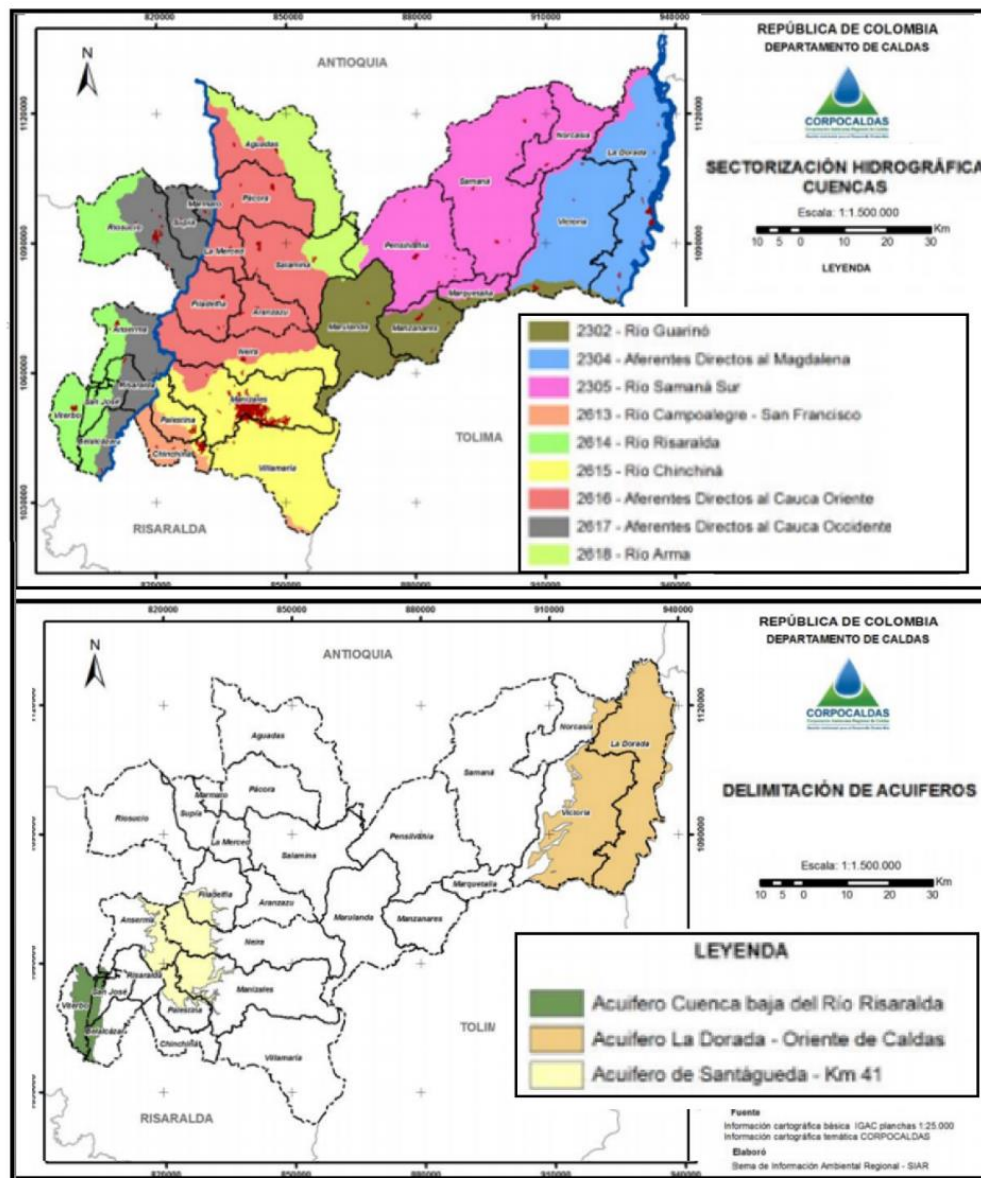
Obsérvese el incremento de R de 0,63 a 0,98 para una obra con una vida útil "n" de 100 años, cuando el período de retorno "Tr" de la amenaza cambia de 100 a 25 años: es el caso de los eventos hidrometeorológicos, por el calentamiento global. Como fundamento,  $1/Tr$  es la probabilidad temporal del evento.

En la vida práctica, dado el enorme costo de las obras de reconstrucción, la conclusión es que para hacer viable el hábitat, aunque también la mitigación cuesta, las obras no solo se diseñan del lado de la falla donde  $R > 50\%$  (ver diagonal en rojo), sino que también al igual que en el caso de la salud se recomienda el enfoque preventivo y no el reconstructivo.

Como símil, dado el enorme costo de la tecnología médica frente a la implementación de una cultura de vida sana, agua potable y buenos hábitos para prevenir enfermedades, en el caso del medio ambiente la componente económica de la sustentabilidad pasa por reforestar cuencas e implementar modelos silvopastoriles y agroforestales, al ordenarlas para prevenir los usos conflictivos del suelo.

### 3.5 LECTURAS COMPLEMENTARIAS

#### *El agua en la biorregión caldense*



Mientras la nueva Ley de Ordenamiento Territorial propone superar la visión municipalista y no desestructurar territorios en el nuevo ciclo de ordenamiento territorial, también anticipadamente en el alba del siglo XXI, desde Alma Mater con ejercicios de planificación prospectiva que involucraron al Eje Cafetero, Norte del Valle y Norte cordillerano del Tolima, se definió la Ecorregión Cafetera con 92 municipios que comparten ecosistemas estratégicos y afinidades culturales y de desarrollo en torno al café. Pero hoy, lamentablemente Manizales continúa construyendo un POT sin haber concertado los lineamientos para la subregión Centro Sur de Caldas, y menos con el área metropolitana de Pereira buscando generar

sinergias, lo que afectaría la viabilidad de los modelos de ocupación territorial de lado y lado, de surgir conflictos al desestructurar territorios, o por imprevistos ambientales en temas de bienes comunes patrimoniales como el agua y el suelo, donde el cambio climático impone grandes desafíos.

Allí Caldas con cerca de un millón de habitantes en 27 municipios, unos en la hoya central del Cauca y otros en el Magdalena Centro, aparece definida como una construcción social e histórica de singular carácter, no sólo por la condición mediterránea y biodiversa de su territorio, sino también por los procesos culturales emprendidos en sus subregiones, donde habitan comunidades con diversas identidades y en continuo mestizaje, primero desde la Conquista y la Colonia, y luego tras la colonización del siglo XIX. Quienes vienen construyendo una visión para la Ecorregión Cafetera, ven en este espacio dotado de unidad territorial la oferta ambiental disponible en unidades ecológicas prioritarias, y las posibilidades de articular su demanda a las dinámicas de las áreas urbanas, definiendo y caracterizando con rigor la "biorregión", entendida como un territorio de agua y suelo cuyos límites están definidos por las fronteras geográficas de comunidades humanas y ecosistemas. Veamos el caso nuestro.

En 2004, Caldas con cerca de 127 mil Ha en bosques, 251 mil Ha en cultivos y 336 mil Ha en pastos y rastrojos, cuantías que cubrían el 96% de su escarpado, verde y deforestado territorio, para preservar el agua y la biodiversidad debió lograr la recuperación integral de sus cuencas, yendo más allá de los escenarios naturales más sobresalientes, como lo son: los cerros de Tatamá y Caramanta, como visibles elementos del corredor biológico de la Cordillera Occidental que dominan el poniente de Manizales; el sistema de páramos que viene de Sonsón y sigue a Roncesvalles con sus fértiles tierras en San Félix y Marulanda, lugar donde se establece el Complejo Volcánico Ruiz-Tolima; y la Selva de Florencia, ecosistema con alto grado de endemismo, ubicado en límites de Samaná y Pensilvania.

Sobre el recurso hídrico disponible, en cuanto al sistema subterráneo sobresalen las zonas de recarga en áreas cordilleranas altas, como páramos y sectores vecinos de gran cobertura boscosa, lo que incluye el Parque de los Nevados y su área de amortiguación, o las regiones del Oriente caldense donde la copiosa precipitación explica un recurso hídrico excedentario, susceptible de aprovechamientos hidroenergéticos responsables, mientras otra sería la situación para los acuíferos asociados al valle interandino del Magdalena, cuyas importantes reservas de agua se establecen a profundidades que van desde decenas hasta algunos cientos de metros, donde habría que perforar las potentes capas sedimentarias de edad terciaria, hasta interceptarlas para extraerlas.

Si en la Ecorregión Cafetera el recurso hídrico más comprometido es el de las cuencas donde se fundan las capitales con sus áreas industriales exacerbando la demanda, y mañana lo será la conurbación Honda – La Dorada, Manizales y este puerto caldense deberían implementar una política pública para el agua, declarándola patrimonio público. También en Caldas, urge tomar previsiones similares en cabeceras con riesgo de déficit severo, caso Marmato y Riosucio como consecuencia de la centenaria actividad minera, o Salamina, La Merced y Filadelfia por las malas prácticas pecuarias, situación que compromete las ventajas estratégicas del corredor La Felisa – Km 41 – La Virginia, dada una amenaza asociada al suministro que se extiende a Quinchía, Marsella, Apía, Balboa y Cartago, comprometiendo severamente el desarrollo industrial y urbano, en el escenario estratégico y más promisorio para la ciudad región Pereira – Manizales, como potencial nodo logístico con privilegios para emplazar industrias químicas de base minera, entre otras.

[Ref.: La Patria, Manizales, 2014.11.10] Imagen: Sectorización de Cuencas y Acuíferos de Caldas. Fuente: CORPOCALAS.

## Mohán: sin bogas ¿pa' onde va el río?



Para empezar, la hidrovía del Magdalena tiene una capacidad fluvial máxima de 500 millones de toneladas-año, y una demanda cercana a los 12 millones toneladas anuales para diferentes tipos de carga. Hoy, la navegación se da desde Barrancabermeja hasta la costa en una longitud de 630 Km, y más adelante entre Barranca y La Dorada cuando se acometa la adecuación del dinámico río, en el que se pretende establecer un canal navegable y estable de 42 m de ancho, aunque con riesgo de exceder las condiciones naturales del variable curso, consecuencia de soportar el diseño sólo en simulaciones sin llegar a los necesarios modelos.

Se contempla, además de dragados de mantenimiento en 900 km entre La Dorada y Barranquilla, estructuras de encauzamiento en 260 km desde Puerto Salgar hasta Barrancabermeja, para establecer ese canal navegable que tendría inicialmente de 4,5 pies de calado hasta puerto Berrio, y 6 de allí a Barranca. El problema a futuro, lo causaría el dragado adicional para dejar todo en 7 pies, a fin de facilitar el acceso de convoyes con 6 pies de calado hasta el puerto caldense: al extralimitar la capacidad del sistema biofísico, se desconectarían los ecosistemas con severo impacto ecológico y afectación grave para los pescadores.

Para la gestión integral de la gran cuenca Cauca-Magdalena, en razón a la complejidad de este biodiverso y pluricultural territorio que cubre el 23,6% del suelo continental de la patria,

donde habita el 67,7% de los colombianos y se genera el 85 % del PIB nacional, urge una adecuación de los instrumentos de política pública acorde a los desafíos del cambio climático, si se quiere una gestión socioambiental que proteja ecosistemas y pescadores, o de lo contrario los desastres darían al traste con la anhelada navegación, al desconocer la naturaleza de un río enfermo y contaminado que descarga 172 millones de toneladas anuales de sedimentos, y no mitigar los eventos extremos esperados del calentamiento global, en este histórico y poblado escenario objeto de un proyecto excluyente y fragmentado, pensado para beneficiar únicamente carbón y petróleo.

Es que definitivamente, recuperar la navegación del Magdalena debería ser una tarea integral que contemple la reforestación de las cuencas tributarias que están en un 40% deforestadas, implementando una intervención para la hidrovía que no comprometa los humedales y ecosistemas del río, y una recuperación incluyente y compatible con los pescadores y ecosistemas del río. Y respecto a los convoyes, para una solución de transporte verde, en lugar de remolcar tres pares de barcazas con 7200 ton, se podría elevar la frecuencia y remolcar sólo dos de hasta 3,5 pies de calado llevando 5000 ton hasta Caracolí, adaptando los convoyes al río y no lo contrario al requerirse menores radios de curvatura en el canal navegable, lo que evitaría la desconexión del río con los ecosistemas de humedales y llanuras de inundación. Además, esto redundaría en economías de tiempo remontando el río.

Si la cuantiosa inversión se justifica en la implementación de un sistema intermodal de carga eficiente, deberían contemplarse trenes que lleguen a la hidrovía desde el Altiplano y el Norte del Valle; no obstante, si la carga del río alcanzó a 2 millones de toneladas al año en la década del 2000 donde 1,5 millones fueron hidrocarburos, y si en contenedores Bogotá sólo genera 6 millones de toneladas anuales, habrá que implementar la locomotora del carbón andino exportado al Pacífico, para hacer viable el transporte intermodal con los trenes pasando por la hidrovía, o de lo contrario la ventaja económica de la intermodalidad y la relación costo-beneficio del proyecto estarían comprometidos.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2015-09-28] Imagen: Champanes, vapores y convoyes por el Magdalena, en Credencial, El Planeta y Cormagdalena.

### ***Prisas para tiempos de calma***

*RESUMEN: Habiendo concluido la ola invernal, si bien obliga priorizar la atención a millones de compatriotas pobres damnificados que esperan, como quiera que empieza un nuevo período de formulación del Ordenamiento Territorial, queda el importante desafío con la nueva Ley de acometer las tareas de una reconstrucción mediada por acciones ambientales estructurales.*



Creating an engineering geological data base for the city of Manizales, Colombia. C. J. van Westen (ITC) <http://www.itc.nl/>

Llega el solsticio, y con él la temporada seca del año para la región andina de Colombia. Igual, para este miércoles 22 de junio, mientras los habitantes de las regiones septentrionales de la Tierra esperan el verano y los de las zonas meridionales empiezan a sentir los rigores del invierno, los asuntos del clima se han regularizado. En esta época justo cuando el planeta transita su órbita elíptica por los lugares más alejados del Sol, éste ha mostrado interesantes perturbaciones como las explosiones del pasado 8 de junio, extrañas

para los profanos pero conocidas por los astrofísicos interesados en investigarlas y conocer sus interacciones con la magnetósfera, para desentrañar la naturaleza del comportamiento variable del astro y pronosticar dichos eventos precisando sus consecuencias sobre nuestro planeta, lo que por supuesto incluye temas tan importantes, que van más allá de las comunicaciones, como los del funcionamiento de la máquina atmosférica para los asuntos del clima.

Con la fecha, queda atrás para nosotros no solo el primer período de lluvias agravado por la ocurrencia de La Niña, sino también otras consecuencias que van más allá de lo que regularmente dicen las noticias: después de casi un lustro con un clima anómalo para el país, donde la Niña 2010/2011 generó una inesperada conmoción por sus mayores y graves consecuencias, está a punto de sancionarse una nueva Ley de Ordenamiento Territorial que incorpora mejores instrumentos para la adecuada gestión del riesgo mirando el antes y el después, tal cual lo ha hecho la expedición del Plan Nacional de Desarrollo donde se incorporó un capítulo completo para los asuntos de una reconstrucción con carácter preventivo. Para mostrar la huella de lo acaecido, subraya el Coordinador de la Maestría en Desarrollo Regional y Planificación del Territorio de la Universidad Autónoma de Manizales, Profesor Jahir Rodríguez R., que de 713 municipios afectados con la ola invernal, más de 30 están en la situación de Gramalote: con el drama de tener que ser reasentados y no todos en territorio de su jurisdicción previendo la susceptibilidad a la ocurrencia del fenómeno padecido. También pensando en la mayor capacidad demandada al Sistema Nacional de la rama, la misión encomendada a la Dirección de Gestión del Riesgo del Ministerio del Interior y de Justicia pasa a una nueva dependencia del orden nacional que la sustituye, al constituirse el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo adscrito a la Presidencia de la República.

Y en cuanto al Ordenamiento Territorial, para quienes nos ocupamos de las ciencias de la Tierra, parece importante saber cómo debemos dialogar con el territorio si es que deseamos entender los procesos sociales y ambientales, dado que de las formas de su uso, ocupación, dotación, afectación y apropiación, y por lo tanto de las relaciones dialécticas que en él se establezcan entre ciudadanos y medio con sus transformaciones y contenidos culturales y

naturales, dependerán las mayores posibilidades de desarrollo al lograr resolver las condiciones conflictivas que impiden mejorar el nivel de vida de sus habitantes. Al respecto, define el Profesor Jahir la gestión del riesgo, como “la capacidad de la sociedad y de sus actores sociales para modificar las condiciones de riesgo existentes, actuando prioritariamente sobre las causas que lo producen”, con el fin de mitigarlo.

Si en ocasiones actuamos interviniendo la amenaza, otras solo podemos reducir los niveles de vulnerabilidad, bien sea a partir de desarrollos tecnológicos para enfrentarlas o evitando la exposición cuando el riesgo no resulta mitigable. Entonces, habiendo entrado un verano sin El Niño como detonante de condiciones climáticas extremas – sequías e incendios forestales-, gracias al sosiego debemos trabajar sin pausa para la adaptación ambiental del caso. Si bien obliga priorizar la atención a millones de compatriotas pobres damnificados que esperan, como quiera que empieza un nuevo período de formulación del Ordenamiento Territorial, queda el importante desafío con la nueva Ley de acometer las tareas de una reconstrucción mediada por acciones ambientales estructurales, nutridas de estrategias de apropiación social de los procesos, para que no se “clone” la vulnerabilidad a los fenómenos catastróficos devastadores, como el calentamiento global en el caso de Colombia.

Ref: Ed. Circular RAC 615. Imagen In: Creating an engineering geological data base for the city of Manizales, Colombia. C.J. van Westen. ITC

...

### ***La encrucijada ambiental de Manizales***



**RESUMEN:** *La tragedia ocurrida en Manizales tras un fuerte aguacero de 156 mm el pasado 19 de abril, que generó eventos hidrogeológicos similares a los que han afectado la ciudad, invita a reflexionar sobre las causas de su mayor incidencia en los barrios populares. Como hipótesis, se trata de pasivos ambientales relacionados con múltiples factores que han intervenido en la construcción social e histórica de un territorio de laderas vulnerables a los eventos climáticos extremos, lo que obliga a fortalecer la prevención de factores como corregir las deficiencias en una planificación precedente que no contempló la dimensión ambiental y del riesgo, prevenir la separación de costos y beneficios en la explotación del medio ambiente, y controlar las dinámicas de un mercado del suelo que especula con la plusvalía urbana.*

**La preocupación por el hábitat no debería reducirse a las tragedias del momento: existen factores estructurales por resolver. Ciudades como Manizales, donde hace poco se registró una tragedia, tienen estudios e instituciones para evitar estos sucesos.**

**Los sectores más vulnerables se localizan en zonas populares. Hay que fortalecer la prevención\*.**

### No es la primera vez

La tragedia ocurrida en Manizales tras un fuerte aguacero (156 mm) en la madrugada del pasado 19 de abril en el distrito sur, vecino a la cabecera de Villamaría, se debió a múltiples deslizamientos y deslaves que dejaron un saldo de 17 *muertos*, 23 heridos, 80 viviendas destruidas, 12 vías afectadas y 500 familias damnificadas.

La situación obligó a declarar el estado de emergencia en la capital caldense, donde cerca de medio millar de personas de los organismos de emergencia (apoyados por personal venido de Pereira y municipios vecinos) emprenden las labores de rescate y salvamento, con esmero y diligencia.

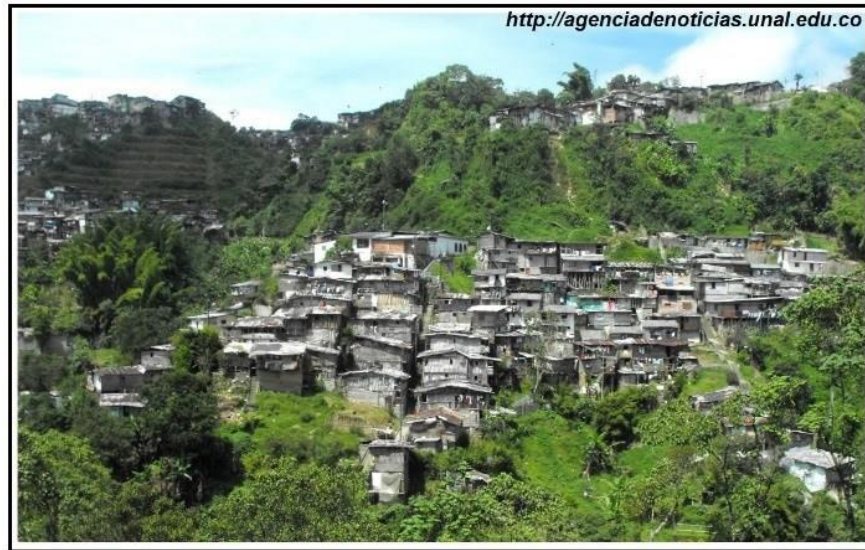


Figura 1: Agencia de Noticias U.N. Manizales: Ladera de la cuenca de la quebrada Olivares 2015.05.26.

Sería interminable hacer la lista de emergencias por eventos hidrogeológicos similares que han afectado a la ciudad. Pero podrían recordarse los que se han dado en el siglo XXI, todos asociados con las lluvias intensas. En ellos el factor detonante ha sido la ocurrencia de eventos climáticos extremos, propios del calentamiento global:

- En diciembre 2003 un deslizamiento cobró 16 vidas en la Sultana;
- En julio 10 de 2005 se perdieron 8 vidas en el barrio Bosconia;
- En marzo 18 de 2006 una creciente cobró 18 vidas en La Gruta;
- En diciembre 15 de 2006 se afectó el medio periurbano occidental en el Arenillo;
- En 2007 un evento en el norte cobró 1 vida;
- En noviembre de 2008 se afectó la infraestructura de servicios del oriente;
- En octubre 19 de 2011 una avalancha destruyó la planta Luis Prieto Gómez, y la ciudad quedó 17 días sin agua; y

- En noviembre 5 del mismo año sobrevino la tragedia de Cervantes, en la que murieron 48 personas.

### Construyendo el territorio

Para comprender la construcción social e histórica del territorio partamos de “la aldea encaramada” de 1848, cuando 400 familias que habitaban este complejo territorio fundaron un poblado sobre un ramal de los Andes al oeste de la Mesa de Herveo y sobre la cuenca media del Chinchiná, a 2.150 metros sobre el nivel del mar en lo alto de una colina.

Los fundadores trazaron una rígida retícula ortogonal. Medio siglo después de haber expandido a más de un centenar de manzanas la retícula, lo que requirió el relleno de cauces para nivelar el abrupto terreno, optaron por cambiar el trazado de la naciente urbe por uno más apropiado. Se ajustaron al terreno y extendieron la cabecera hacia el oriente siguiendo las curvas de nivel, donde se aprovecha la corona de la montaña. Adecuaron el camino de arriería y lo convirtieron en El Carretero, un corredor vial desde el cual se accedía a los nuevos barrios emplazados por las dos vertientes.

*Sería interminable hacer la lista de emergencias por eventos hidrogeológicos similares que han afectado a la ciudad.*

No obstante, en los años 1970, como consecuencia del advenimiento de la revolución verde que trajo el café caturra a la zona cafetera y produjo el desplazamiento de legiones de campesinos hacia la ciudad, Manizales creció “sin compás ni escuadra”, con barrios localmente planificados o con invasiones que luego se consolidaron. .

El resultado fue una ciudad donde cerca de un tercio del suelo urbano actual (en rojo en la figura 2) corresponde a las áreas con algún nivel de amenaza, donde construyen viviendas en riesgo sobre áreas de alto grado de susceptibilidad a los deslizamientos.

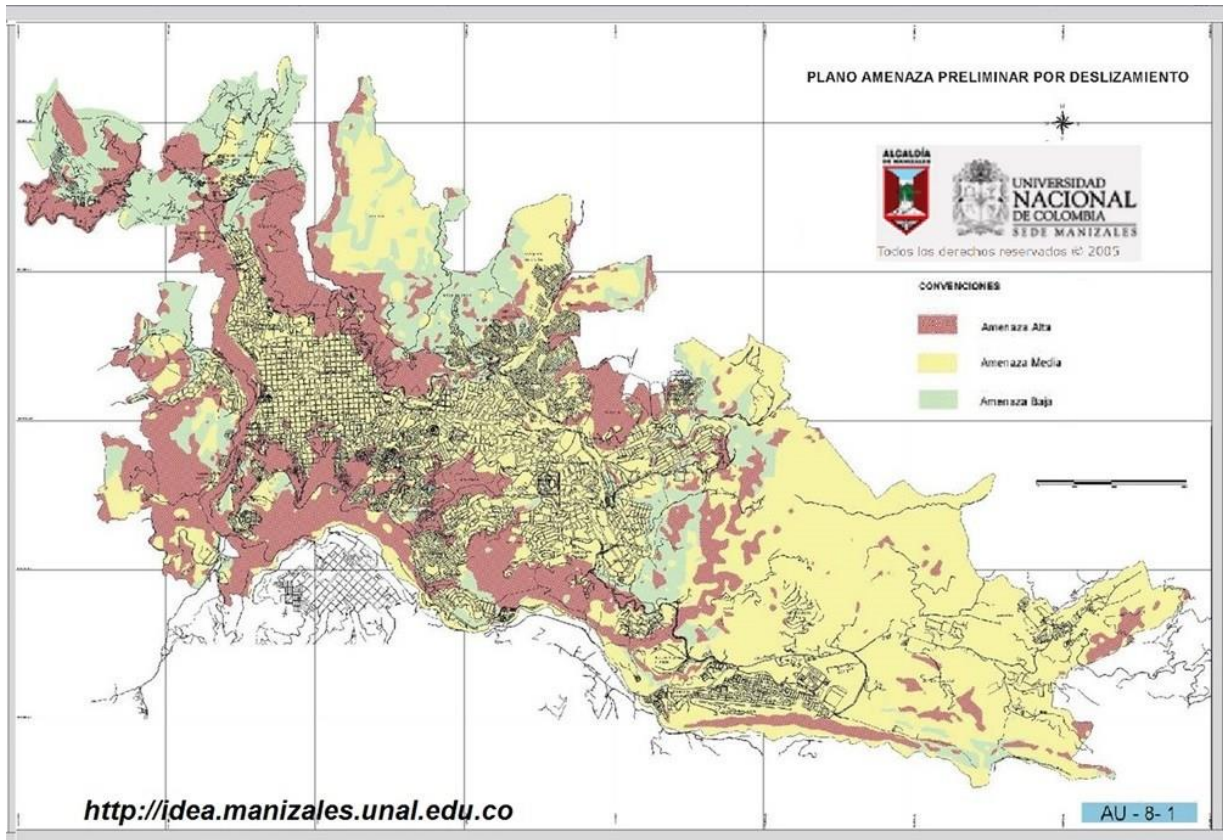


Figura 2: Amenaza por deslizamiento en Manizales (2005). En rojo, las zonas de amenaza alta del área urbana. Fuente: Municipio de Manizales – Idea U. N. De Col.

### El desarrollo urbano

Aunque en las décadas siguientes se establecieron planes de desarrollo en Manizales, estos carecieron de la dimensión ambiental y del riesgo, ya que tanto el ordenamiento territorial como las instituciones ambientales son recientes en Colombia. Estas llegaron con la Constitución de 1991, que además de ocuparse de la organización territorial, creó un Sistema Nacional de Planeación conformado por el Consejo Nacional y los Consejos territoriales de planeación.

Aunque se dispuso que las entidades territoriales habrían de elaborar de manera concertada planes de desarrollo, solo a partir de la *Ley 1454 de 2011* se establecieron mecanismos para lograr un ordenamiento territorial proclive a la descentralización (aunque no se descentralizó el presupuesto) y a una planeación, gestión y administración del territorio coherente y concertada. Además, según la *Ley 1523 de 2012* los municipios de Colombia están obligados a formular un Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.

Sin embargo, todavía tenemos en Manizales un gran pasivo ambiental, consecuencia de la separación de costos y beneficios en la explotación del medio ambiente, y de la mala planeación asociada con el crecimiento acelerado y desordenado de la ciudad, que se expresa en la fragmentación espacial urbana y vulnerabilidad del hábitat, y en las prácticas depredadoras del medio rural caracterizadas por la quema y la tala, ya que a nivel de toda la Ecorregión Cafetera el área de potreros equivale al 48 por ciento del territorio, una cifra que supera 12 veces el 4 por ciento de superficie apta para dicho uso. Además, el área apta para bosques se ha reducido 2,7 veces, al pasar del 54 por ciento al 19 por ciento.

Mediante la *Ley 40 de 1971* se creó la Cramsa (hoy Corporación Regional Autónoma de Caldas), con el propósito de atender el problema de la erosión y sus consecuencias en Manizales, Salamina y Aranzazu. Con esto la ciudad logró el desarrollo de una tecnología para el control de la erosión, gracias al aporte de la academia, de la ingeniería local y del Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).

.

### *El modelo de ocupación*

Según el plan de ordenamiento territorial (POT), el área afectada por la erosión (2 por ciento del área urbana) aumenta cada año en un 11 por ciento. Según este documento, las causas de los deslizamientos son los sismos, la deforestación, el clima, los suelos, la topografía, el deterioro de las condiciones socioeconómicas de la población y la falta de cultura ciudadana.



Manizales, Colombia. Foto: Wikimedia Commons

*Todavía tenemos en Manizales un gran pasivo ambiental, consecuencia de la separación de costos y beneficios en la explotación del medio ambiente, y de la mala planeación asociada con el crecimiento acelerado y desordenado de la ciudad.*

Se propone en ese documento la restricción para el desarrollo urbanístico de la zona afectada directamente por el deslizamiento, y de otros sitios que puedan ser objeto de esta restricción. Además de señalar los asentamientos creados sin ningún proceso de planificación, se establece para ellos que la Secretaría de Planeación adelantará la realización de los planes zonales, la rehabilitación, estabilización de laderas, arborización y demás acciones que propendan por el desarrollo y mejoramiento del hábitat de los ciudadanos del sector.

Ante el reclamo de la sociedad civil y de la academia, preocupada al observar la privatización de los beneficios y socialización de los costos de la actividad urbanizadora que continúa

destruyendo ecosistemas (caso Monteleón) y presionando zonas de reserva estratégicas (caso Río Blanco), el POT de la ciudad incluyó la plusvalía urbana, una moderna herramienta de gestión que no se podía encontrar en administraciones anteriores.

Con ella se espera controlar las fuerzas que especulan con el suelo urbano y captar recursos para hacer viable la intervención de zonas de riesgo con población vulnerable en las frágiles laderas de la ciudad (Alto Persia) y sobre cauces de cuerpos de agua como la quebrada Manizales (Verdum).

.

### Los desafíos

Manizales es una ciudad que ha desarrollado una tecnología para el control de la erosión, tiene un sistema de alertas tempranas, así como el programa de guardianas de las laderas, y ha hecho obras notables para la estabilización en cerca de 300 sitios. Sin embargo, a pesar de autodenominarse "ciudad del agua", continúa vertiendo unas 20 toneladas por día de material de carga orgánica proveniente de las aguas residenciales, y una carga contaminante comparable proveniente del sector industrial.

Además, tiene indicadores verdes de un árbol por cada 27 habitantes y de 2,7 metros cuadrados de áreas verdes por habitante en espacio público (nueve y tres veces menores que los estándares internacionales respectivamente). Y su cerro tutelar, Sancancio, cobra pasivos ambientales en Aranjuez por permitir la deforestación de su ladera de protección.

En conclusión, no es que este desastre hubiera podido ser mayor ni que la ciudad esté en el lugar equivocado, sino que estas tragedias se pueden prevenir si en lugar de presionar la estructura ecológica principal para corregir el descontrol hídrico y pluviométrico en las áreas rurales, reforestamos nuestras cuencas donde la potrerización y la pérdida de bosques han sido constantes.

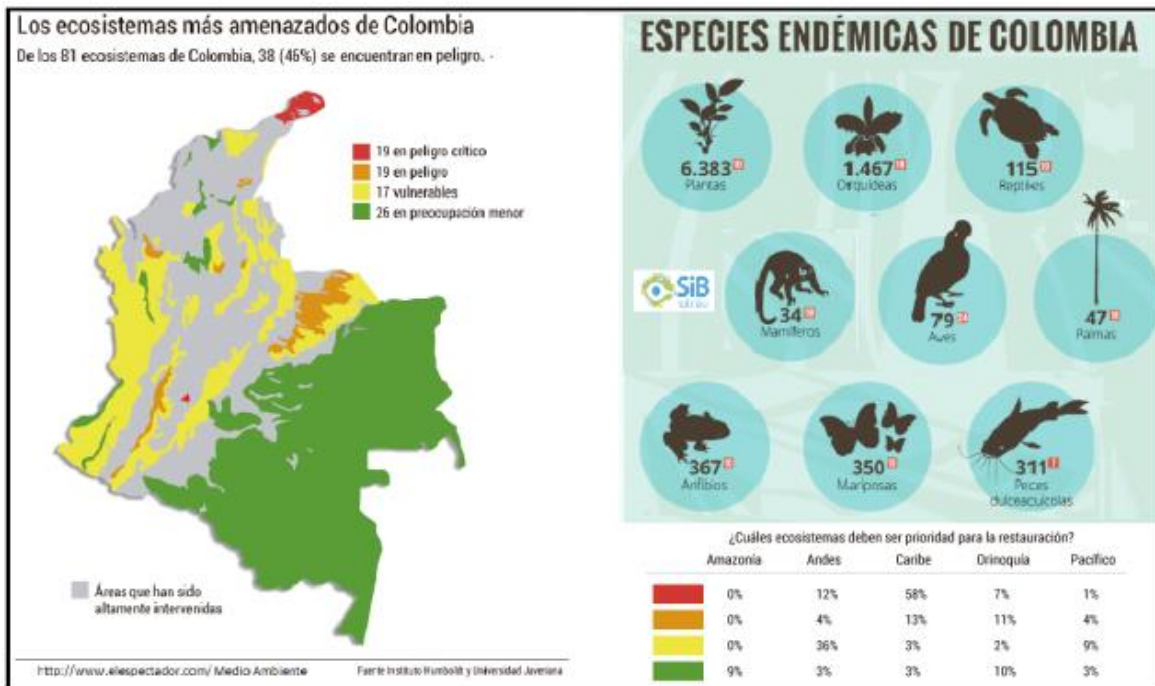
Podemos optar por recuperar la función ecológica de las laderas de protección y cauces del medio periurbano, además de gestionar la vulnerabilidad que subyace en las zonas de riesgo urbano, para tratar el hábitat con una mirada biocéntrica que reoriente el modelo urbano.

Imagen de portada: Ladera del Alto Persia en 19 de Abril, Manizales. Alcaldía de Manizales.

\* Razón Pública. Domingo, 30 Abril 2017.

\*\*\*

**Colombia biodiversa: potencialidades y desafíos**



*RESUMEN: Con 9.153 especies endémicas y 56.343 registradas en 2016, entre los doce países biodiversos del mundo, Colombia ocupa el segundo lugar después de Brasil, al tiempo que es el primero en aves y en orquídeas. Entre las áreas con mayor riqueza biológica, sobresalen la selva Amazónica, el Chocó Biogeográfico y el Macizo*

*Colombiano. De los 81 ecosistemas que tiene Colombia, 38 presentan riesgo de deterioro por acciones antrópicas. Aunque el país cuenta con el «Sistema de Parques Nacionales Naturales» (SPNN) constituido por 59 parques naturales, Según el Instituto de Investigación Alexander von Humboldt & la Universidad Javeriana, el Bioma de bosque seco tropical, el bioma de desierto tropical y los ecosistemas húmedos, son algunos de los que están en situación más crítica. Por fortuna, algunos de ellos podrían ser preservados al estar ubicados en resguardos indígenas y comunidades negras.*

Con 9.153 especies endémicas y 56.343 registradas en 2016, entre los doce países biomegadiversos del mundo Colombia es el segundo, al tiempo que es el primero en aves y en orquídeas. También somos segundos en plantas, anfibios, mariposas y peces dulceacuícolas; terceros en palmas y reptiles, y cuartos en mamíferos. Sí en anfibios poseemos más de 700 especies de ranas, y en vertebrados terrestres unas 2.890 especies de las cuales 456 son mamíferos y 520 de reptiles, también poseemos cerca de 55.000 especies de plantas, de las cuales 1/3 son endémicas.

Pese a lo anterior, aunque contamos con el 60 por ciento de los páramos del planeta y con 59 áreas protegidas a nivel nacional, la biodiversidad está en riesgo en 38 de 81 ecosistemas por factores antrópicos que los destruyen, explotan o contaminan: al respecto, en 2014 el Instituto de Investigación Alexander von Humboldt, quien destaca que gran parte de la biodiversidad de Colombia se encuentra en territorios colectivos indígenas, había presentado un panorama “desalentador” por los efectos de siglos de transformación e intervención humana, para reclamar más educación y conciencia pública.

En cuanto al marco normativo, según la Constitución Política de 1991, los Parques Nacionales Naturales (caso PNN los Nevados) no prescriben, son inembargables e intransferibles; y las Áreas Protegidas (como las Reservas de Río Blanco y La CHEC) son declaradas a perpetuidad. Y en relación con el marco legal, la Ley 99 de 1993 crea el Sistema Nacional

Ambiental SINA, donde los ecosistemas amenazados están mal donde representados.

Además, mediante el Decreto único 1076 de 2015, se creó Parques Nacionales Naturales de Colombia.

Colombia está dividida en seis regiones naturales: dos costeras en sendos océanos, dos más sobre el naciente de cara a las cuencas de la Orinoquía y Amazonía, una insular de pequeña extensión, y la región andina que soporta la mayor proporción de la población del país. Los ecosistemas señalados en riesgo según expertos, son los del bioma de bosque seco tropical y del desierto tropical, los secos intra-andinos, los húmedos y los del bosque húmedo tropical del piedemonte llanero.

Poseemos 2900 km de costas en dos océanos, conectamos las Américas desde el sector más septentrional de los Andes con sus nevados, volcanes, altiplanos, sabanas y valles intercordilleranos; pisos térmicos con gran variedad de ecosistemas tropicales, que van desde selvas húmedas y secas, sabanas, bosques y páramos, hasta ríos, costas, arrecifes de coral, ciénagas y manglares. Entre las áreas con mayor riqueza biológica, sobresalen la selva Amazónica, el Chocó Biogeográfico y el Macizo Colombiano.

Si Colombia alberga 4.812 especies protegidas por la Convención Internacional sobre el comercio de especies en peligro, entre ellas 66 que están en alto riesgo de extinción e incluyen 11 especies de orquídeas, 31 de mamíferos y 10 de aves. Adicionalmente, talamos cerca de 200 mil hectáreas de bosques por año, contamos con alrededor de 1.200 especies en peligro crítico, e introducimos 922 al país, 22 de ellas clasificadas como invasoras.

Y en cuanto al Eje Cafetero, dado su potencial relacionado con el aviturismo, sin duda alguna debemos abordar el estudio de la diversidad de aves, ya que de las 1.912 especies del país podemos contar con más de 650 en la región y de ellas al menos 433 reportadas en Caldas al 2010, donde un sinnúmero adicional que permanecen ocultas, le demanda a ornitólogos y aficionados profundizar y completar el conocimiento de la diversidad por áreas determinadas, resaltando especies migratorias, amenazadas y endémicas con su hábitat.

Las áreas protegidas, además de salvaguardar la biodiversidad y ofrecer invaluable servicios ambientales, a la luz del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera, incorpora retos: allí se reconoce en el tercer considerando que el “Desarrollo económico con justicia social y en armonía con el medio ambiente, es garantía de paz y progreso”. Su primer punto, sobre la “Política de desarrollo agrario integral”: señala la “Reducción de la ampliación de la frontera agrícola y protección de zonas de reserva”; y el cuarto, sobre la “Solución al problema de drogas ilícitas”: contempla “Programas de sustitución de cultivos de uso ilícito”... mediante “Planes integrales... con recuperación ambiental de las áreas afectadas”.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2017/08/28] Imagen: IAVH y UJ  
en <http://www.elespectador.com> y SiB Colombia

\*\*\*

### ***Desarrollo energético y clima salvaje***



Frente a la amenaza climática, el planeta tendrá que reducir las emisiones relacionadas con el consumo de carbón y petróleo: Europa, China y Estados Unidos apoyan el límite de los 2 °C. Con los compromisos actuales en reducción de emisiones, al 2100 el calentamiento superaría los 3 °C y con 20% de probabilidad sobrepasaría los 4 °C, cuantía suficiente para intensificar los eventos climáticos extremos como precipitaciones inusuales, severas sequías,

aumento en el nivel del mar y desaparición de glaciares, y sus correspondientes fenómenos colaterales: inundaciones, deslizamientos, incendios forestales, según el caso, como graves factores que se sumarán a la pérdida de biodiversidad a gran escala por el deterioro del hábitat natural, y a la escasez de agua en muchas regiones que se han vuelto vulnerables por los usos indebidos del suelo en áreas de recarga.

Se sabe que no es viable quemar las reservas de petróleo, gas y carbón que equivalen a 11.000 giga-toneladas Gt de dióxido de carbono, sin afectar el clima de la Tierra. Según el quinto Reporte de Emisiones presentado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2014), se necesita limitar el calentamiento a 2 °C, reduciendo las emisiones de efecto de invernadero al 2050, entre un 40% y 70% de los niveles de 2010. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2014), las emisiones futuras no podrán exceder 1.000 Gt, puesto que el total que se puede emitir a la atmósfera terrestre sin sobrepasar los 2°C, es 3.670 Gt.

En América latina, ya se sienten los efectos de la dramática caída del precio en estos combustibles fósiles, manejados con la filosofía de enclaves económicos: Colombia, el primer productor de carbón de América Latina y cuarto exportador mundial, tendrá que olvidarse de sus reservas de carbón térmico y concentrarse en el carbón metalúrgico, disponible sólo en la cordillera oriental y en el desarrollo de la carboquímica; y Venezuela, el primero en la lista de países por sus reservas probadas de petróleo e históricamente uno de los mayores proveedores de Estados Unidos, que no podrá exportar la mayor proporción de su "oro negro", pero sí desarrollar la petroquímica.

De ahí la importancia de la energía limpia y de la eficiencia energética, dado que no todas las fuentes de energía son cómodamente almacenables (por ejemplo la energía geotérmica, eólica o solar), ni son siempre fuentes seguras, tal cual ocurre con el uranio por los riesgos de siniestros colaterales con la energía nuclear, pese a sus importantes beneficios energéticos. Contrariamente, esa es la gran ventaja de los hidrocarburos, que debido a su relativa seguridad a temperatura y presión ambientes, alta densidad de energía y condición fluida, continuarán extrayéndose y refinándose aunque en menor cuantía para ser usados

como acumuladores químicos, pero en nuestro caso debería hacerse en el marco de una política de soberanía nacional para prevenir enclaves energéticos.

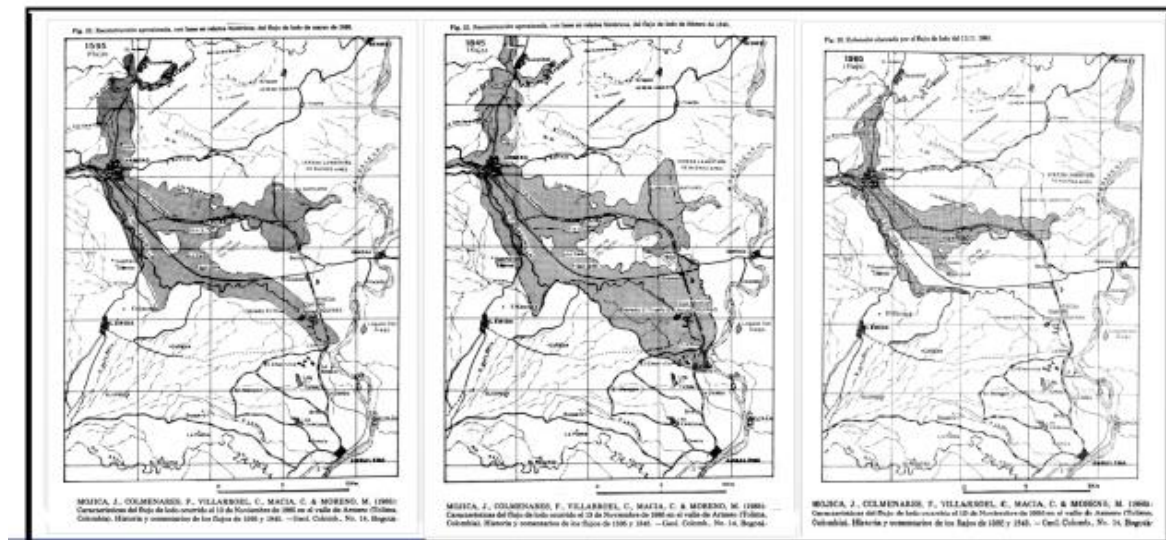
Ahora, sabemos que los bosques atrapan parte del dióxido de carbono emitido a la atmósfera, en cuantías diferentes: según investigaciones recientes los tropicales, que son bosques ubicados en las latitudes bajas como la nuestra donde la eficiencia es alta, estarían absorbiendo el 56%, y los bosques boreales y australes de latitudes a 60° norte y sur como Canadá, Siberia y Chile donde existen estaciones y temperaturas reducidas, absorberían el 44% restante. Esto invita no solo a preservarlos, sino también a convertir sus beneficios en pago de servicios ambientales, en lugar de persistir en las acciones antrópicas que agravan el problema, como la deforestación y la contaminación del agua, del suelo y del aire, causando problemas ambientales, económicos y sociales.

Finalmente, estas aclaraciones sobre nuestro clima: primero, habrá que tener en cuenta que El Niño/La Niña, es un fenómeno meteorológico impredecible, que solo puede pronosticarse dado su carácter cíclico y comportamiento errático; segundo, que el clima en la región andina de Colombia, al variar con los solsticios y con los equinoccios resulta bimodal, haciéndose seco o veraniego en los trimestres impares, y húmedo o invernal en los trimestres pares; y tercero, que si durante El Niño, ambas temporadas resultan más secas en los Andes colombianos y los huracanes resultan más frecuentes por el Caribe, durante La Niña ocurre todo lo contrario.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2015.01.19] Imagen: Desastres en Colombia, en Bancomundial.org y pulsamerica.co.uk

\*\*\*

### ***Exordio de una tragedia volcánica***



Flujo de 1595

Flujo de 1845

Flujo de 1985

Flujos de lodo cuaternarios relacionados con la actividad del Volcán Nevado del Ruiz en la región de Armero-Guayabal-Mariquita (Tolima) Fuente: <http://www.bdigital.unal.edu.co/31455/>

*RESUMEN: Si bien la erupción del Ruiz (1985) con apenas 1/10 de Km<sup>3</sup> de magma aportado, fue calificada de subpliniana, al cobrar unas 25 mil vidas queda la lección para no subestimar estos eventos: antes del desastre ocurrido el 13 de noviembre, no se preparó a la población de Armero de conformidad con las recomendaciones de UNDR0, y sobre todo ante la advertencia expresa de que en caso de una erupción, tal cual lo señalaba la historia suficientemente conocida desde antes, Armero sería borrado por una avalancha de conformidad con lo que mostraba el mapa oficial de amenazas volcánicas desde su primera versión de octubre de dicho año, así fuese preliminar.*

Se conmemoran los 30 años de la tragedia de Armero y Chinchiná, el mayor desastre causado por una amenaza natural en Colombia: la erupción del Ruiz que comienza con emisiones de ceniza fruto de explosiones premonitoras pasadas las tres de la tarde, pero cuyo paroxismo se da a las 9:09 de la noche del miércoles 13 de noviembre de 1985, cuando detonan los flujos de lodo generados por el agua del deshielo ocasionado por las riadas gaso-piroclásticas que funden la nieve, además de la copiosa lluvia que acompaña la erupción magmática. Dichos lahares, estimados en 100 millones de metros cúbicos, al descender por los ríos Gualí, Lagunillas-Azufrado y Río Claro-Chinchiná, llevaron desolación y muerte al devastar a su paso los asentamientos rivereños con sus puentes, vías y cultivos.

Las avalanchas de lodo y piedra, tras cerca de dos horas de recorrido, al arrasar las poblaciones ubicadas en los valles de salida de los ríos que drenan desde el volcán nevado hacia el Cauca y el Magdalena, en ambos poblados cobraron la vida de 25 mil compatriotas que no fueron oportunamente alertados, y menos preparados con anterioridad para evacuar preventiva y oportunamente frente a una eventualidad, dado el fatal riesgo de esta amenaza hidrogeológica de origen volcánico, con probabilidad de ocurrencia del cien por ciento en caso de erupción, según lo señalaba el mapa de amenazas concluido desde octubre del mismo año por el equipo de geólogos de Ingeominas y la Universidad de Caldas.

Aunque la UNDRO había recomendado meses antes el monitoreo del volcán, la elaboración de un mapa de riesgos y la implementación de planes de evacuación, a pesar de los antecedentes del Ruiz asociados a las erupciones de 1595 y 1845, donde la primera cobró unas 600 vidas y la segunda otras 1000 asentadas en el mismo lugar donde se fundaría Armero (1895), por nuestra inexperiencia, la falta de apoyo del gobierno explicada en la tardanza para emprender las tres tareas recomendadas, y la inexistencia de los valiosos instrumentos de gestión del riesgo hoy implementados, aunque se contaba con dos horas después de iniciada la erupción de 1985 para que un poblado como Armero fuera evacuado hacia las zonas más altas contiguas, sus pobladores no fueron notificados.

Hace 30 años en el ámbito colombiano, donde el gobierno estaba preocupado por los asuntos de la toma del Palacio de Justicia, no era fácil advertir lo que ocurriría: El Ruiz se había reactivado casi un año antes tras un período de calma de 140 años, silencio que permitió acuñarle el apelativo de "león dormido". Igualmente, en la tarde del fatídico 13 de noviembre, cuando la ceniza llevada por el viento cae como copos de nieve sobre el poblado, el cura de Armero a través del megáfono le había asegurado al pueblo que las condiciones eran seguras, por lo que no había que abandonar el pueblo, al tiempo que por la emisora local el alcalde de la localidad informaba que no había nada de qué preocuparse aludiendo a la ceniza volcánica que caía.


Dado que la magnitud del desastre sólo se advierte a la madrugada del día siguiente cuando vía aérea se observa la destrucción de la "ciudad blanca", que los sobrevivientes de Armero

sumergidos en el lodo se esparcían sobre un área de 30 kilómetros cuadrados inundada por el fango, se perdieron muchas vidas al haber transcurrido horas vitales sin poder iniciar el rescate, y porque al emprenderlo la logística de salvamento se dificultaba, dada la condición del escenario con vías y puentes destrozados, y un sistema hospitalario colapsado que debió expandirse de forma improvisada para las urgencias.

En Armero, las primeras acciones las emprenden héroes sobrevivientes que al alba penetrando el pantano en medio de una masa enmarañada y esparcida de árboles, escombros y cuerpos mutilados, ayudan a quienes heridos yacían gimiendo en agonía; la difícil tarea que luego prosiguen los socorristas conforme van llegando de las poblaciones vecinas, horas más tarde se apoya con insuficientes helicópteros. A modo de lección, con la convicción de que esta tragedia podría haberse evitado con una planificación adecuada, habrá que continuar con acciones socioambientales integrales, hasta alcanzar una cultura del riesgo que contribuya a la construcción sostenible del hábitat, considerando las amenazas naturales.

[Ref: La Patria. Manizales, 2015-11-09]. Imagen: Lahares asociados al V. N. del Ruiz, de 1595, 1845 y 1985, en <http://www.bdigital.unal.edu.co/31455/>

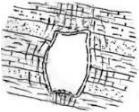
## LOS AUTORES:

	<p><b>Carlos Enrique Escobar Potes:</b> <a href="http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000068284">http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000068284</a></p> <p><b>Gonzalo Duque Escobar:</b> <a href="https://godues.wordpress.com/2012/09/12/gonzalo-duque-escobar-cvlac-rg/">https://godues.wordpress.com/2012/09/12/gonzalo-duque-escobar-cvlac-rg/</a></p>
---	--

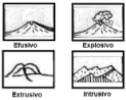
TEXTOS U.N.



**Geomecánica.** Duque-Escobar, Gonzalo y Escobar P., Carlos-Enrique (2016). Programa de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.



**Manual de geología para ingenieros.** Duque-Escobar, Gonzalo (2017). Fundamentos geología física y de Colombia. Universidad Nacional de Colombia





**Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia.** Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2016)



**Textos "verdes".** Recopilación temática de documentos U.N., con autoría y coautoría de Gonzalo Duque Escobar.

\*\*\*

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA</p>  <p>Geotecnia para el trópico andino <a href="http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/">http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/</a></p> <p><u>Carlos Enrique Escobar Potes</u> <u>Gonzalo Duque Escobar</u></p> <p>Manizales, 2017.</p>
<p>A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.</p>	