



Flujo de lodo de 1985 en Armero, Tolima. Vulcan.wr.usgs.gov

MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Cap 16

MOVIMIENTOS MASALES

GONZALO DUQUE ESCOBAR

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

Son los movimientos de la roca y del material no consolidados, en respuesta a la atracción de la gravedad. El agua, el hielo y el viento son agentes geológicos de erosión. Aunque los medios de transporte son variados; entre los principales figuran los ríos.

Los agentes de estos procesos externos están impulsados fundamentalmente por dos fuerzas: la energía del Sol y la gravedad. Estos procesos actúan en sentido inverso a procesos internos que regeneran el relieve.

Son varias las causas que condicionan el modelado de las rocas y las distintas morfologías. Entre éstas podríamos destacar tres: la tectónica, la climatología y el tipo de roca.

Las fuerzas internas son las principales responsables de las formas a gran escala que se observan sobre la superficie del planeta, como cordilleras y depresiones. Aparece aquí la climatología influenciando los agentes geológicos externos que provocan erosión. En las regiones montañosas frías el hielo, en las regiones áridas el viento y por una y otra parte el agua, que es el principal agente modelador de las regiones templadas.

Como el fenómeno de la erosión por corrientes de agua, y por glaciares y desiertos, se verá adelante, sólo se considera en este aparte el de los movimientos de masas por ser estos los más significativos cuando se evalúan las amenazas naturales en zonas de montaña.

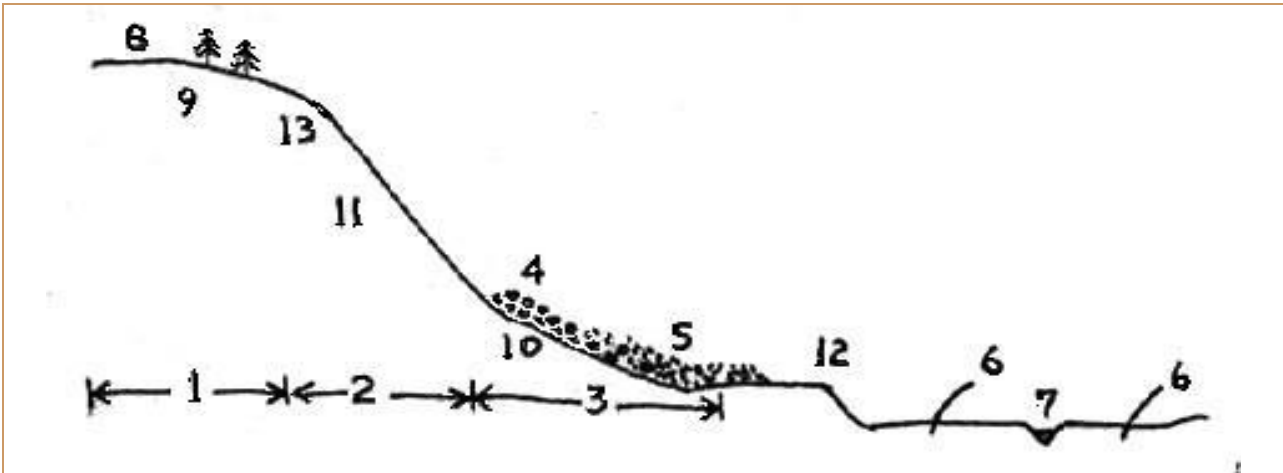


Figura 100. Perfil idealizado de una ladera: 1. zona de infiltración, 2. ladera desnuda, 3. ladera de acumulación, 4. talus, 5. coluviones, 6. aluviones, 7. río, 8. interfluvio, 9. ladera convexa, 10. Ladera cóncava, 11. Ladera recta, 12. Borde de cauce. Adaptado de Manuel García López, curso de estabilidad de taludes, U. Nal.

16.1 PARAMETROS Y PROCESOS DE INESTABILIDAD

El movimiento de masas ocurre cuando el esfuerzo cortante supera la resistencia al corte del suelo. Esto puede ocurrir al aumentar el esfuerzo cortante (sismos, variaciones morfológicas desfavorables, etc.) o al disminuir la resistencia al corte del suelo (saturación, meteorización, etc.).

16.1.1 Parámetros que influyen en el movimiento masal. Los parámetros que influyen en la inestabilidad de las masas son:

- El tipo de material (clase de rocas, capa alterada y tipo de cobertura).
- Pendiente (gradiente, forma y longitud de las laderas).
- Condiciones hidrológicas (infiltración, permeabilidad, profundidad del agua subterránea y cantidad de agua).
- Procesos morfológicos (erosión fluvial e hídrica y movimientos masales).
- Parámetros externos (como la distribución de la pluviosidad, es decir, relación intensidad-período, la sismicidad y el vulcanismo).

16.1.2 Procesos que facilitan el movimiento de masas. La gravedad proporciona la energía para el movimiento pendiente abajo de las masas de suelo. No obstante el movimiento se favorece por la acción del agua, por la geometría de los depósitos y por la naturaleza de los materiales. De ahí que los procesos que influyen la inestabilidad sean:

- **Resecamiento del suelo.** Si el exceso de agua provoca el deslizamiento, también la falta de agua. Al secarse el suelo, se contrae y se producen disyunciones perpendiculares a la dirección en que los vasos capilares van perdiendo agua. No se deben pavimentar los taludes para facilitarles el agua lluvia.

- **Saturación del material con agua.** No se promueve el movimiento por lubricación. La tensión superficial de la humedad da cierta cohesión al suelo, pero la fuerte lluvia obliga a la salida del aire de los poros destruyendo la tensión superficial y reduciendo la cohesión de la masa. Simultáneamente, con la saturación del suelo, el agua de los poros entra bajo presión y trata de apartar los granos individuales y unidades de roca, disminuyendo la fricción interna del material.

- **Modificaciones por erosión.** Porque altera la geometría del depósito, venciendo la pendiente crítica del talud o provocando la pérdida de su pata. También la deposición o sobrecarga de materiales erosionados interviene en la estabilidad de una masa al modificar la pendiente o al generar esfuerzos adicionales en su interior, que alteren la estabilidad de los materiales.

Cuadro 20. Procesos de erosión hídrica e inestabilidad

Tipo	Acción	Consecuencia	Medidas
Pluvial (lluvia)	Impacto	Deslizamiento	Empradizado, mateado Plantación protectora Captación y recubrimiento
	Esorrentía	Descubrimiento	
	Infiltración		
Esorrentía (arroyamiento)	Difusa	Erosión laminar Surcos o cárcavas	Barreras vivas y colchones Trinchos, gaviones
	Concentrada		
Fluvial (corrientes)	Lineal	Profundiza cauces y erosiona laderas Desgasta el relieve en los interfluvios	Obras de disipación y plantación protectora Obras transversales, reforestación

Tipo	Acción	Consecuencia	Medidas
	Areolar		
Eólica (viento)	Levantamiento Abrasión	Descubrimiento Desgaste	Mateado y plantaciones Barreras cortaviento vivas

Adaptado de Heber Soto y Carlos E. Escobar. Control de la erosión, Cramsa, 1984.

- **Variaciones del material y otros.** Como cambios en la naturaleza del suelo (por meteorización o por alteración natural o artificial de los materiales), esfuerzos dinámicos (sismos, tráfico, etc.), sobrecargas artificiales e intervención del hombre (talas, construcciones, etc.)

Cuadro 21. Perfil de un suelo residual.

FABRICA	Nº	HORIZONTE	DESCRIPCION	AFALLAMIENTO
Fábrica Textural Heredada	VI --- V	Suelo residual	Suelo residual ----- roca completamente descompuesta	Erosión ----- Superficie Irregular
Fabrica Textural y Estructural Heredada	IV --- III	Roca meteorizada	Roca altamente descompuesta ----- roca modera/ descompuesta	Fallas planas, volcamientos y curvas ----- inicia el control estructural
Fábrica Estructural Heredada	II --- I	Roca no meteorizada	Roca débil/ descompuesta ----- roca fresca	Falla en cuña o planar, caída ----- Superficie curva en roca triturada

J. Montero. Estabilidad de taludes. Conferencia Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 1995.

16.1.3 El efecto de las lluvias torrenciales. Una condición importante de la estabilidad es el fenómeno de la lluvia y su intensidad. La precipitación media anual a lo largo de la zona andina colombiana varía entre 1300 mm

y 2500 mm, con localidades de 5000 mm, y en la época lluviosa pueden darse entre 300 mm y 500 mm y en la seca entre 50 mm y 100 mm al mes.

En su mayor parte los deslizamientos se producen durante o inmediatamente después de lluvias de más de 50 mm o 100 mm/día, dependiendo de la zona.

Las temporadas de lluvia, en nuestro clima colombiano son: febrero 22 a marzo 21 y septiembre 21 a diciembre 22. Es que las temporadas húmedas y secas van con los solsticios y equinoccios, épocas en las que varía la posición de la Zona de Confluencia Intertropical ZCIT, o ecuador meteorológico, sobre el cual convergen los vientos productores de lluvia a lo largo del año.

Regiones como el Chocó, con precipitaciones diarias e intensas muestran mejor estabilidad que regiones de la zona cafetera con precipitaciones más espaciadas y menos intensas.

En los años más lluviosos, que coinciden con el fenómeno del Niño, terminando los períodos de lluvias, muchas precipitaciones producen deslizamientos. La razón, ya los suelos se encuentran saturados y las lluvias de finales del período lluvioso, que tengan suficiente intensidad, sirven de detonantes.

16.2 CAUSAS Y FACTORES DE LA INESTABILIDAD

Las causas de la inestabilidad pueden ser intrínsecas, detonantes y contribuyentes.

16.2.1 Causas intrínsecas. Las causas intrínsecas suelen ser naturales y se relacionan con las aguas subterráneas, con los materiales, con la tectónica, con la topografía abrupta, etc. En la evaluación de la amenaza estas causas pueden configurar los factores de la susceptibilidad del material al movimiento masal.

En las causas intrínsecas hay que tener en cuenta los siguientes **factores** inherentes a los materiales:

- Factores relacionados con la composición y fábrica textural (como textura mineral, de diques que intruyen la roca).
- Factores relacionados con el estado de alteración de los materiales o de degradación mecánica.
- Factores relacionados con la actitud estructural, es decir, con la disposición de los materiales los cuales pueden estar orientados, favorable o desfavorablemente.
- Cambios en el estado inicial de los esfuerzos.

Las causas detonantes pueden ser naturales como la lluvia, el sismo (evaluado en términos de aceleración de la gravedad) y la erosión, o artificiales como cortes, llenos, deforestación, etc. En la evaluación de la amenaza estos se constituyen en factores detonantes.

16.2.2 Causas detonantes. En los detonantes hay que tener en cuenta los órdenes de las amenazas. Las amenazas de primer orden no son causadas por otras amenazas pero pueden ser detonantes de las de segundo orden. Las de tercer orden son causadas por las de primero o segundo orden. Estas son:

- **Primer orden:** sismos, huracanes, erupciones volcánicas y lluvias.
- **Segundo orden:** deslizamientos, maremotos, inundaciones, sequías.
- **Tercer orden:** aludes, avalanchas, flujos.

16.2.3 Causas contribuyentes. Las causas contribuyentes son similares a las causas detonantes o a las intrínsecas, pero su acción se limita simplemente a la anticipación del evento. Son aquellas que afectan de alguna manera las propiedades intrínsecas del sistema o que agravan el factor detonante del evento. Por ejemplo la remoción del soporte (natural o artificial), el sobre empinamiento (por acción hídrica), las sobrecargas (construcciones, saturación, deposiciones).

En la evaluación de las causas contribuyentes hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Factores relacionados con la composición de la roca.
- Factores relacionados con la degradabilidad de la roca.
- Factores relacionados con la estructura geológica.
- Factores por ambiente sismotectónico o volcánico.
- Factores antrópicos (sobrecargas, pérdida de soporte, manejo y alteración del drenaje, esfuerzos dinámicos, deforestación, mal uso y manejo del suelo).
- Factores climáticos (variaciones de la temperatura, máximas y mínimas, cantidad de lluvia, intensidad y distribución de las precipitaciones).

16.3 EVALUACION DE LA ESTABILIDAD

16.3.1 Resistencia al corte de los suelos. La resistencia a la cizalladura o corte, es el punto de partida para el tratamiento de los problemas de empuje de tierras contra estructuras de contención, de estabilidad de taludes de suelos en terraplenes y cortes, y de capacidad de soporte última de terrenos que han de servir de cimentación.

Los suelos están sometidos a esfuerzos de compresión, tracción y cizalladura como cualquier estructura, pero su resistencia a la falla por ruptura depende fundamentalmente de su resistencia a la cizalladura. Dado que la mayor parte de los suelos pueden soportar sólo pequeños esfuerzos de tracción, y que la resistencia a la falla por compresión pura es tan alta que no tiene importancia práctica, el interés del ingeniero se centra casi por completo a la resistencia al corte.

- **Ecuación de Coulomb.** Coulomb establece que un material falla cuando el esfuerzo cortante en una dirección dada de éste llega a igualar a la resistencia a la cizalladura en esa misma dirección, la cual depende de la cohesión y de la fricción interna entre los granos. La ecuación de Coulomb (1773) es la siguiente:

$$s = c' + \sigma' \tan \phi'$$

En la cual **s** es la resistencia al corte del suelo en un punto y una dirección dados, **c** es la resistencia efectiva por cohesión entre las partículas de suelo, **$\sigma' \tan \phi'$** es la resistencia por fricción interna entre los granos, **σ'** es el esfuerzo efectivo normal a la dirección considerada, **ϕ'** el ángulo de fricción efectiva del suelo y **$\tan \phi'$** el coeficiente de fricción interna del material.

En aquella fórmula se supone que la cohesión **c'** y la fricción **$\tan \phi'$** son constantes e independientes: no son ni lo uno ni lo otro, pero tal ecuación es tan útil como simple, incluso en nuestros días.

La cohesión **c** viene a ser la resistencia a la cizalladura τ del suelo bajo presión normal nula. Ella no existe entre granos de arena sin finos y en los limos es relativamente baja y aún nula. El ángulo de fricción interna ϕ resulta de la fricción mecánica directa entre granos y de la trabazón entre ellos.

16.3.2 Falla en taludes de suelo. Para comprender algo acerca del papel de la fricción y la cohesión en una masa de suelos, tomemos un talud que ha de fallar, no por deslizamiento superficial sino por movimiento del cuerpo del talud. Nos interesa el segundo caso donde la falla puede ser traslacional o rotacional según el tipo de suelo.

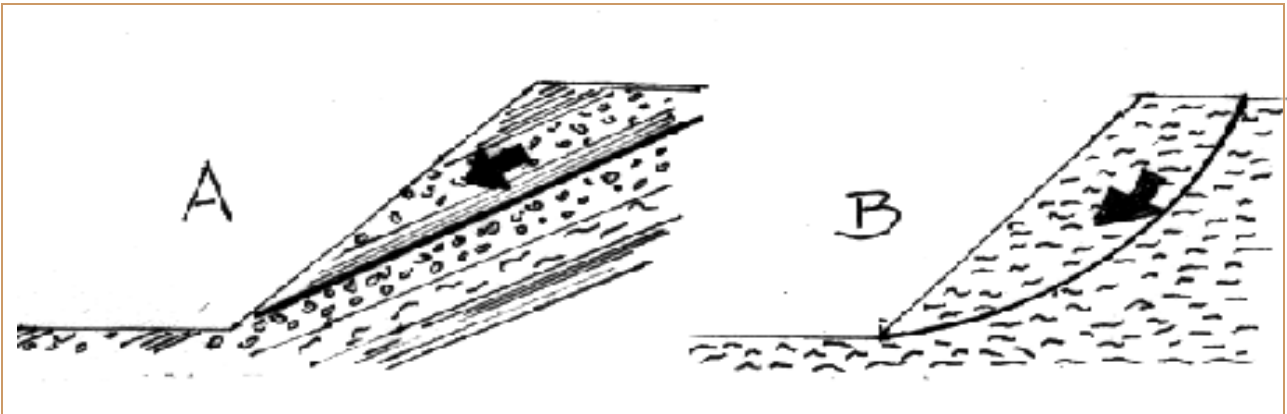


Figura 101. Fallas en suelos: A. Falla traslacional, B. Falla rotacional. Según Manuel García López, curso de estabilidad de taludes, U. Nal.

- **Suelos friccionantes.** Por ejemplo arenas. La falla en este caso es traslacional o plana.

El factor de seguridad FS está dado por el cociente entre las fuerzas resistentes FR y las fuerzas actuantes FA. Así, la estabilidad supone factores de seguridad mayores que uno.

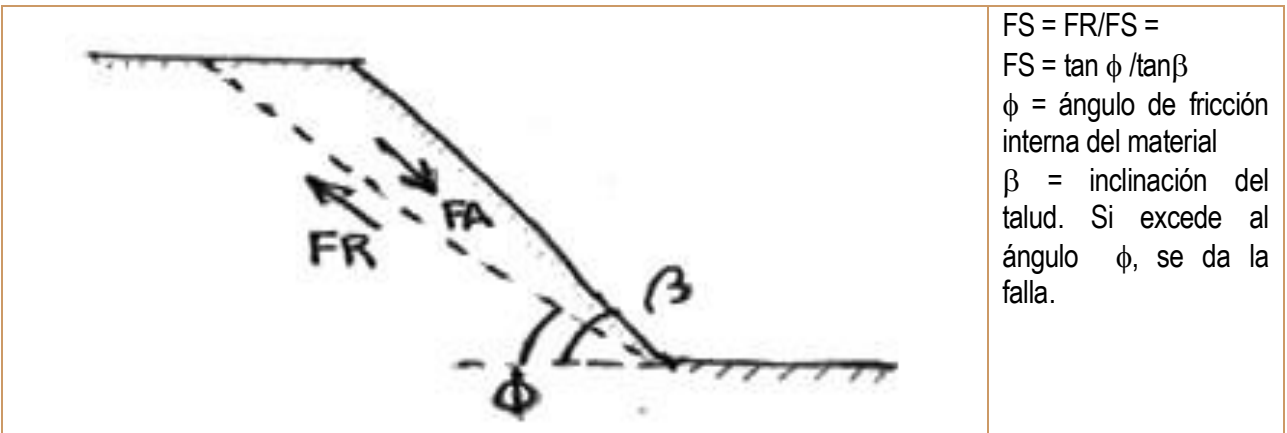
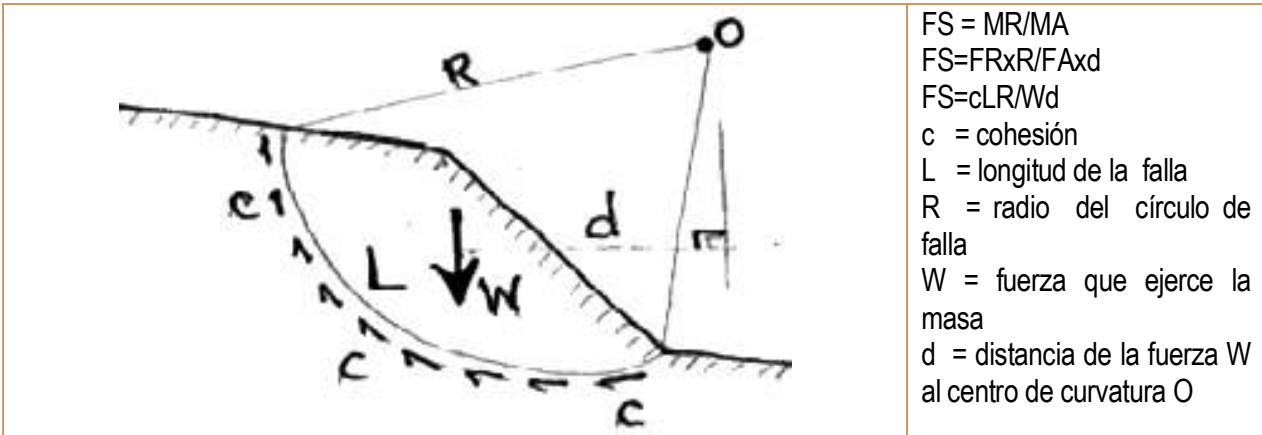


Figura 102. Falla de un talud friccionante. Obsérvese la geometría plana de la superficie de falla.

- **Suelos cohesivos.** Por ejemplo arcillas. La falla es rotacional y su geometría tiende a ser circular. El factor de seguridad FS está dado por el cociente entre el momento resistente MR de las fuerzas resistentes FR y el momento actuante MA de las fuerzas actuantes FA.

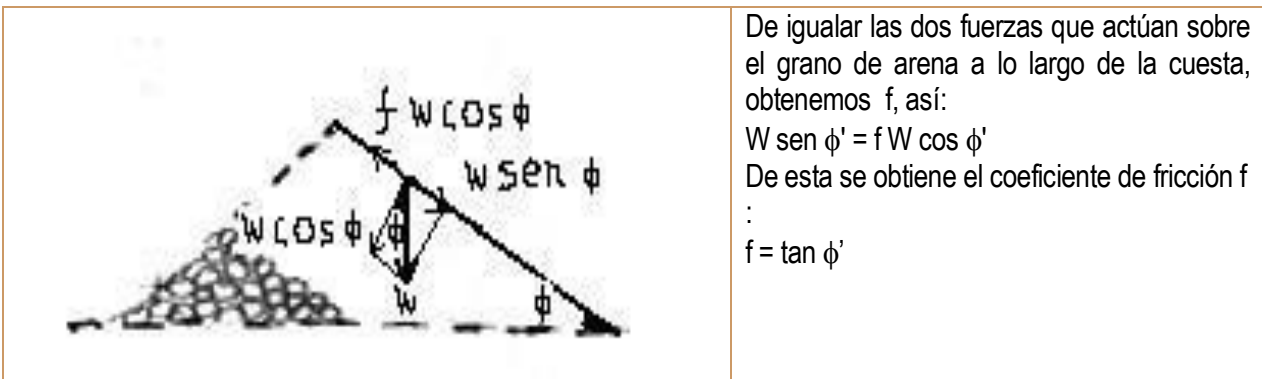


$FS = MR/MA$
 $FS = FR \times R / FA \times d$
 $FS = cLR/Wd$
 $c = \text{cohesión}$
 $L = \text{longitud de la falla}$
 $R = \text{radio del círculo de falla}$
 $W = \text{fuerza que ejerce la masa}$
 $d = \text{distancia de la fuerza } W \text{ al centro de curvatura } O$

Figura 103. Falla de un talud cohesivo. Obsérvese la tendencia circular de la superficie de falla.

- **Angulo de fricción y fuerza de fricción.** Para encontrar la relación entre el ángulo ϕ de fricción interna y la fuerza unitaria de fricción interna del material f , supongamos un depósito de arena de forma cónica, reposando sobre una superficie horizontal como muestra la figura 104.

Al verter los granos sin impulso la pendiente del talud alcanza un límite de estabilidad crítico bajo el ángulo ϕ' . Cualquier grano de peso W en la superficie del depósito estará sometido a un par de fuerzas en equilibrio: $W \text{ sen } \phi'$, como fuerza que actúa tratando de rodar el grano, en dirección paralela con la superficie del talud, y, $f W \text{ cos } \phi'$ como fuerza que se opone, sosteniendo el grano, y en dirección opuesta a la anterior, siendo $W \text{ cos } \phi'$ la componente del peso W que resulta normal a la superficie.



De igualar las dos fuerzas que actúan sobre el grano de arena a lo largo de la cuesta, obtenemos f , así:
 $W \text{ sen } \phi' = f W \text{ cos } \phi'$
 De esta se obtiene el coeficiente de fricción f :
 $f = \tan \phi'$

Figura 104. Grano de arena en equilibrio crítico, sobre un talud. El ángulo ϕ de inclinación del talud es el mismo que hace la fuerza normal al talud, con la del peso W del grano de arena.

Se puede interpretar éste valor de f como el porcentaje de fuerza del peso W , que debe ser superado para provocar el volcamiento de cualquier grano sobre la superficie del depósito.

- **Conclusión.** Para el suelo friccionante donde la falla tiende a ser traslacional, el factor de seguridad es el cociente de fuerzas y lo crítico es la inclinación del talud; en los cohesivos, donde la falla tiende a ser rotacional, el factor de seguridad es el cociente de momentos y el factor crítico suele ser la altura del talud.

Además se puede inferir el papel de los sistemas radiculares profundos típicos de los bosques, que incrementan la resistencia al corte del suelo en la superficie de falla y drenan el suelo por el mecanismo de transpiración; además, el del follaje multiestrato que reduce el volumen de agua lluvia que alcanza el sauelo, gracias al papel de retención del follaje. Se considera que no es significativo el efecto del peso de los árboles y que los primeros aspectos suelen superar el efecto negativo de la infiltración a causa de la mayor rugosidad de la cobertura vegetal.

16.4 CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE LOS MOVIMIENTOS DE MASAS

Es importante una taxonomía que explique los mecanismos de deslizamientos de tierra y roca en el medio tropical andino, pues los fenómenos naturales no se producen siempre de una misma manera regular y uniforme y bajo condiciones simples y homogéneas. Con una clasificación capaz de abarcar todas las especies y géneros del fenómeno se pueden elaborar modelos y teorías útiles en el análisis y cálculo de los fenómenos que han de ser prevenidos o corregidos.

16.4.1 Clasificación de los movimientos masales. Una primera aproximación, puede ser la de discriminar los flujos rápidos y los deslizamientos, es decir los fenómenos de transporte de masas y de desplazamiento de masas.

El **transporte** de masas se da en avalanchas, flujos, fenómenos de escurrimiento y deyección de materiales. Los **desplazamientos** de masas, se dan en fenómenos de reptación, desprendimientos, deslizamientos, subsidencias (cavernas de erosión y disolución) y propagación lateral de materiales.

Una segunda aproximación es la clasificación de los movimientos por su rapidez. Se consideran **movimientos rápidos** los deslizamientos de tierra, flujos de lodo, flujos de tierra y desarrollo de taludes. Se consideran **movimientos lentos** el resbalamiento, la solifluxión y los glaciares de roca.

Los **deslizamientos** pueden ser profundos (sin control estructural), caídas de detritos (con control estructural) y deslizamientos de rocas (con control estructural). Los deslizamientos pueden ser rotacionales (superficie de falla curva y suelo cohesivo) o traslacionales (superficie de falla plana y suelo friccionante).

La **reptación o reptamiento** (flujo lento) se reconoce por la ondulación del terreno, el desplazamiento de líneas de acueducto, la inclinación de postes y árboles. La velocidad se excita en épocas de invierno aunque en los más

profundos ésta es más uniforme. Hay reptación de suelos en zonas interfluviales (material inconsolidado y húmedo), reptación de rocas en capas inclinadas hacia valles y reptación de talus (fragmentos de roca acumulados en cantiles).

Los **escurrimientos** son derrumbes o colapsos de masas irregulares asociados a excavaciones lineales (vías canales). Los **desprendimientos** son volcamientos, caídas, saltamientos y rodamientos de rocas.

Los **flujos rápidos** pueden ser flujos de tierra (baja velocidad), flujos de lodo (velocidad moderada) y avalanchas de detritos (alta velocidad). Un flujo de tierra puede transformarse en un flujo de lodo si hay aportes de agua; los flujos de lodo son más rápidos pero no portan volúmenes significativos de piedra y los sólidos están dominados por finos. Las avalanchas son ya enormes y permiten diferenciar bien un canal o cuello que conecta una zona de alimentación y otra de descarga. También hay flujos de detritos que son rápidos a causa de las altas pendientes, con contenidos de agua y aportes de materiales gruesos, pero que no compiten con las avalanchas

16.4.2. Descripción de los movimientos masales. Se tratará de complementar la descripción de los movimientos, clasificados ellos de acuerdo a su velocidad, y se harán anotaciones relacionadas con el manejo o la prevención de algunos eventos.

- **Deslizamientos de tierra.** Los movimientos catastróficos y destructivos de roca y suelo, que son los ejemplos de movimientos de masa más espectaculares, conocidos vulgarmente como "deslizamientos de tierra", deben ser subdivididos en tres así:

- **Desplazamientos o fallas de pendientes.** Son desplomes de masas que se desplazan como una unidad o serie de unidades; estos movimientos dentro del campo elástico a lo largo de planos curvos, son típicos de terrazas.

- **Deslizamiento de roca.** Son de carácter rápido y repentino. Estos movimientos, los más catastróficos de todos, se dan a lo largo de los planos de debilidad de las unidades de roca.

- **Huaycos.** Escurrimientos superficiales asociados a saturación por lluvias torrenciales. La masa que involucra la cobertura de suelo meteorizada, se transforman en flujos de escombros; son frecuentes en laderas desprotegidas de sistemas radiculares profundos o con pastos, sobre abruptas pendientes. La denominación es de origen Quechua.

Cuadro 22. Clasificación de los movimientos de suelos y rocas en regiones tropicales

	CLASE	COMO OCURRE	CUANDO OCURRE	COMO EVITAR
Movimientos plásticos	Reptación por las camadas superficiales	Movi. lentos de rastreo, movilizand sólo una parte de la resistencia al corte	Movimiento constante acelerado durante la época lluviosa	Impermeabilización de la superficie y drenaje superficial
O viscoso	Deslizamiento de "talus"	Movimientos continuos de antiguos depósitos de laderas	Corte hecho al pié de un "talus" durante la época lluviosa	Lo anterior más subdrenaje con drenes horizontales o galerías filtrantes
Deslizamientos a lo largo de superf.	Deslizamientos planos o traslacionales	Asentamientos del manto relativamente delgado sobre la superficie de la roca de fondo	Rotura durante o después de precipitaciones con más de 100 mm/día durante el invierno	Lo mismo con cambio de configuración del talud, canales colect., bermas en el pie y muros de contención.
con cohesión y fricción	Deslizamientos rotacionales	Deslizamiento de suelos residuales o masa saprolítica, eventualmente con bloques de roca		
Deslizamientos estructurales de	Deslizamientos de cuñas o placas de roca	Deslizamiento a lo largo de discontinuidades planas	Rotura repentina durante o después de tormentas con más de 100 mm/día, pero no necesariamente	Anclaje de rocas y estructuras ancladas
Masas rocosas	Deslizamiento de masas rocosas muy fracturadas	Similar a los deslizamientos planares y rotacionales	Durante la época lluviosa	
	Caída de rocas	Desmoronamiento de bloques de roca (boulders)		

	CLASE	COMO OCURRE	CUANDO OCURRE	COMO EVITAR
Flujos rápidos	Flujo de masa barrosa	Erosión o licuación de capas superficiales	Durante tormentas con precipitaciones de más de 50 mm/hora en épocas lluviosas de años secos	Si son moderados se construyen en la vaguada estructuras disipadoras para evitar la incorporación de
	Flujo de bloques de roca y "boulders"	Demolición de masas rocosas muy fracturadas		Material del cauce

Milton Vargas. Clasificación y mecanismos de deslizamiento de tierra y roca en zonas tropicales. Congreso Suramericano de mecánica de rocas, Santafé de Bogotá, 1982.

Para prevenir los deslizamientos de tierra se recomienda el recubrimiento de las laderas con pastos especiales, la siembra de árboles de bajo porte que no provoque rugosidad y que favorezca la infiltración; la transpiración abate el nivel freático estabilizando el terreno. Los drenes horizontales de penetración también abaten el nivel freático y su papel consiste en llevar la presión atmosférica al interior del talud, para recuperar la tensión superficial.

En macizos con diaclasas favorables a la pendiente, se recomienda el anclaje de cuñas y la selección de la ladera adecuada para la fundación de bancas de vías, buscando planos de debilidad contrarios a la pendiente de la ladera.

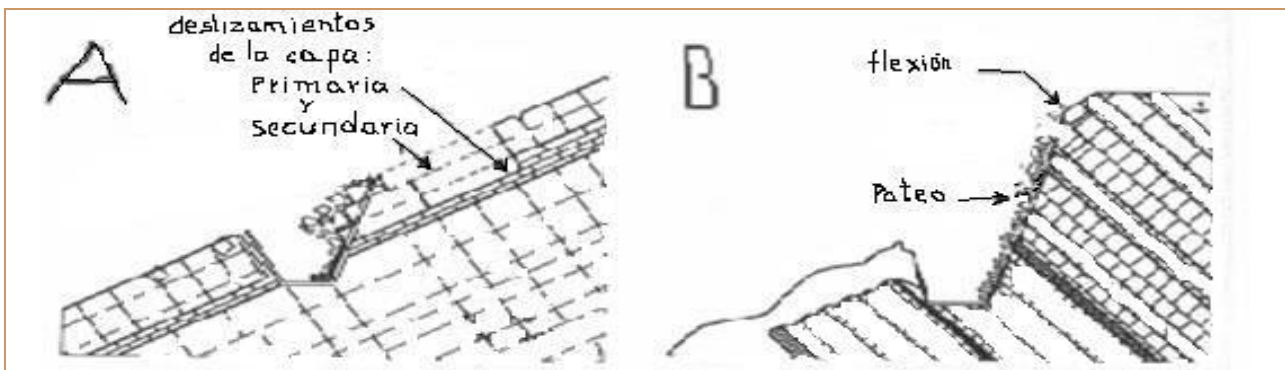


Figura 105. Selección de la ladera adecuada. Izquierda, Ladera en Macizo de Buzamiento conforme, Derecha, ladera en macizo de buzamiento contrario. Tomado y adaptado de Jaime Suárez, Deslizamientos.

La observación del estado de las coronas de los taludes y acantilados, particularmente en las zonas mineras y en regiones históricamente inestables, puede contribuir a la mitigación de los desastres. La construcción de obras de contención y defensa en el pie de las laderas amenazadas por corrientes de agua resulta de suma importancia.

- **Flujos de lodo.** Masas mezcladas de tierra, roca y agua en avalancha, que fluye con la consistencia del concreto. Se ocasionan por procesos de deshielo o por lluvia repentina en paisajes desérticos y no desérticos. Prototipo de este evento es el flujo que destruyó Armero en 1985 y el que destruyó la Planta de Gallinazo en Manizales en 1979. Estos eventos de gran recorrido, inundan finalmente los valles de salida de los ríos.

Hay monitores de flujos que se instalan en las vaguadas de los ríos con el propósito de generar alarmas tempranas para anticipar el aviso de eventos importantes que amenazan zonas pobladas aguas abajo de las corrientes. Consisten aquellos en cables horizontales tendidos transversalmente a una altura conveniente, para que flujos de cierta altura los revienten, interrumpan un circuito eléctrico y se genere una señal telemétrica de alarma.

- **Flujos de tierra.** Movimiento plástico de depósitos de tierra no consolidados, se diferencia de los anteriores porque el movimiento es muy lento pero perceptible. Los bloques conservados en la parte alta emulan a los desplomes, mientras las partes más bajas fluyen manteniendo su carácter plástico.

- **Fallas de taludes.** Son desprendimientos de fragmentos de roca provenientes de acantilados que caen en una serie de saltos libre, rebotes y deslizamientos. La pendiente del talud varía con el tamaño y forma de los fragmentos de roca, pero rara vez supera los 40° de inclinación con el horizonte.

- **Aludes.** Movimientos típicos de zonas estacionales causados en terrenos montañosos, dado que la pendiente crítica de la nieve es 20°. Cuando las laderas superan dicha inclinación, si no hay bosques o sistemas artificiales que generen rugosidad, durante el invierno, en caso de presentarse una mala estratificación de la nieve o de sobrevenir la acción del agua de deshielo por la llegada de la primavera, se provoca un alud de nieve, piedras, etc.

- **Resbalamiento o reptación.** Se da incluso en pendientes suaves y en climas templados y tropicales, cuando el material no consolidado, en estado húmedo, fluye sin dejar marcas superficiales sobre la cubierta vegetal, como fisuras o quiebres en la cubierta. Otras evidencias pueden anunciarlo, por el flujo los árboles y postes se inclinan y los pavimentos, conducciones y estructuras se agrietan y dislocan.

Tabla 19. Diferencia entre reptación y deslizamiento

Reptación	Deslizamiento
Movimiento lento o progresivo que se presenta cuando se supera la resistencia fundamental del material que es la resistencia a fluir	Se inicia repentinamente cuando los esfuerzos de corte superan la resistencia interna al corte del material
Sin superficie de falla. El movimiento es viscoso hacia la superficie y varía a plástico hacia la profundidad	El material se desplaza sobre la superficie de falla. Sin zona de transición (importante) al flujo plástico
Se debe a la gravedad combinada con otros fenómenos	Puede ser continuo o intermitente y se explica sólo por acción de la gravedad

J. Montero. Estabilidad de taludes. Conferencia Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 1995.

- **Soliflucción.** En el período de deshielo el agua se derrite de arriba hacia abajo quedando en el fondo una superficie que impide la percolación y por ende la masa de tierra saturada fluye. Otra forma de soliflucción, no periglaciaria, es la que se da en las zonas tropicales húmedas, cuando en las laderas de los montes embebidas de aguas fluye el suelo por debajo de las raíces.

- **Glaciares de roca.** Son largas lenguas de escombros rocosos. Se mueve la masa de las rocas, sugiriendo un comportamiento viscoso y al pie de los acantilados, cuando recibe por carga los nuevos bloques producto de la acción de las olas, del hielo, etc., según el lugar donde se encuentren.

- **Licuación.** Se da en depósitos no consolidados (sobre todo de material friccionante) saturados sometidos a la acción de un sismo, que destruye la presión efectiva del suelo convirtiéndolo en un fluido a manera de arena movediza. En la licuación o licuefacción la presión neutra de la masa de suelo aumenta hasta igualar la presión total. Ocurrido esto la presión intergranular se hace nula, se pierde el autosoporte del esqueleto sólido del suelo, los edificios cimentados se hunden y el depósito, de estar mal confinado, fluye.

A causa de la excitación del sismo, por la turbulencia en el fluido, se genera una infiltración de los granos de arena que destruye la cohesión entre las partículas del suelo. Al desaparecer la presión intergranular, queda la arena sin ninguna resistencia al corte.

16.5 LA SITUACION EN COLOMBIA

En Colombia predominan **rocas blandas**, es decir, materiales intermedios entre suelos y rocas. Por ejemplo, las rocas de bajo o medio metamorfismo como esquistos, filitas, algunas serpentinitas y anfibolitas, e incluso algunos gneises y rocas mal consolidadas y mal cementadas, como margas, lodolitas, limolitas y areniscas blandas.

Las rocas blandas son susceptibles a los cambios de humedad típicos del ambiente tropical. Para la zona andina en el oriente de Colombia predominan espesos coluviones y en el occidente suelos residuales y volcánicos. El occidente está afectado por tectonismo y sismos.

Es importante para el ambiente andino tropical considerar los **suelos residuales** con sus estructuras relictas o heredadas, que a diferencia de los suelos transportados, donde las discontinuidades son horizontales (predecibles), estas resultan con orientación aleatoria y buzamiento impredecible.

Los espesores de las alteritas son mayores en las zonas tropicales (vegetación y clima), como la cordillera Oriental de naturaleza sedimentaria. Los saprolitos son típicos de la zona andina (roca cristalina), como las zonas de batolitos a lo largo de la cordillera Central y Antioquia. Los andosoles se desarrollan en lugares con cenizas volcánicas donde se desarrollan haloisitas y alófanas (Cauca, Nariño y zona cafetera). Las lateritas son suelos típicos del Cauca y los Llanos Orientales.

Además de un **clima** con contrastes de temperatura y precipitación, existen **factores tectónicos**.

La precipitación es alta en Chocó y el margen llanero, moderada en la zona cafetera y baja en las zonas desérticas de Colombia (Guajira, Alto Magdalena, Villa de Leiva).

Colombia en su zona andina, tiene fallas, muchas activas, mostrándose en sus laderas inestables zonas con intenso fracturamiento donde los materiales presentan trituración y brechamiento. El occidente está afectado por las fallas de Romeral y Palestina (rumbo) y el oriente por el sistema de las fallas frontales de los Llanos (inversa). Ambas son de alto riesgo sísmico.

La falla geológica condiciona el drenaje interno y tras todo ello se presenta una cronoestratigrafía en repetidas ocasiones desfavorable puesto que en los estratos de diferentes edades se presentan contrastes de permeabilidad, zonas débiles, etc.

16.5.1 Zonificación. Si se integran en una zona cualquiera de Colombia, aunque sea a nivel regional, un mapa geológico, un mapa tectónico y un cuadro de movimientos masales clasificados, se pueden inferir algunos factores de inestabilidad (inherentes, detonantes, etc.). Si superponemos relieve y sobrefracuramiento obtenemos zonas más o menos propensas a deslizamientos. En Colombia las áreas de influencia del sistema Romeral y de las fallas del margen llanero se pondrían en evidencia como zonas altamente inestables.

Montero señala en Colombia varias provincias con amenaza alta a deslizamiento así:

- **Entre la falla Romeral y el Cauca.** Con rocas metamórficas, rocas con cataclasis y arcillas alófanas remoldeadas.

- **La cordillera Oriental.** Con suelos espesos (alteritas) sobre lutitas que son químicamente alterables.

- **El margen llanero.** Muy afectado por el ambiente tectónico y la naturaleza sedimentaria de los suelos.

- **Zonas con potentes flujos alterados.** Como la Estampilla (Manizales), donde se encuentran depósitos fluvioaluviales alterados y en procesos de movimientos masales.

- **Zonas de coluviones.** Como los de Quebrada Blanca en la vía al Llano.

- **Saprolitos.** En zonas de debilidad tectónica.

En resumen la juventud de las cordilleras, el ambiente tectónico intenso y la naturaleza del clima, son factores que se conjugan para explicar la inestabilidad de nuestras laderas.

16.6 EVALUACION DEL RIESGO

Se denomina **amenaza** al evento o fenómeno perjudicial con un cierto nivel de magnitud o alcance, que tiene una probabilidad de ocurrencia significativa en un período de tiempo dado.

La **vulnerabilidad** es la susceptibilidad al daño de un elemento ante la ocurrencia de un fenómeno.

El **riesgo** es la posibilidad de afectar significativamente las vidas o bienes a causa de un fenómeno dañino que tiene una probabilidad determinada de ocurrir dentro de un período de tiempo dado. La relación entre amenaza y riesgo se establece por medio de la expresión.

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

La amenaza depende del evento detonante, del grado de susceptibilidad a la falla y de la energía potencial destructiva del evento. La vulnerabilidad es directamente proporcional al grado de exposición de los elementos e inversamente proporcional a su resistencia al evento.

En consecuencia, sustituyendo los factores de amenaza y vulnerabilidad en la ecuación anterior podemos escribir:

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

16.6.1 Factores de amenaza y factores de riesgo.

Los factores de **amenaza** de conformidad con lo anterior son:

- La susceptibilidad debida a factores internos.
- Los eventos detonantes como lluvias, sismos, erosión y sobrecargas.
- El potencial de energía destructiva del sistema.

Y los factores de **riesgo** son:

- El nivel de amenaza.
- El grado de exposición de elementos que puedan sufrir daños posibles (ubicados sobre la ladera o al alcance del evento).
- La resistencia al fenómeno que opongan los elementos amenazados, para no sufrir daños estructurales ni funcionales.

Es importante señalar que los elementos considerados pueden ser vidas o bienes y que los eventos que generan la amenaza son el movimiento de masa y los fenómenos que éste desencadene.

16.6.2 Medidas y tipos de riesgo.

Las medidas que se pueden tomar en casos de movimientos de masas pueden ser de tipo preventivo o correctivo.

Los **riesgos** asociados a los movimientos de masas pueden denominarse:

- Riesgos evitables, según su origen sea evitable o sus consecuencias anulables.
- Riesgos controlables, según se trate de un evento predecible o un evento cuyos efectos sean atenuables.
- Riesgo incontrolable cuando no se puede predecir o evaluar completamente el riesgo, ni existen soluciones al alcance de la tecnología.
- Riesgos aceptables, cuando se marca una diferencia entre el mayor nivel de riesgo y la máxima previsión.

Las **medidas** aplicables pueden ser:

- Sistemas de observación y alarmas.
- Reducción de la exposición.
- Reducción de la amenaza.
- Incremento de la resistencia.
- Jerarquización de prioridades.
- Jerarquización de estudios.

16.6.3 Estudio económico del riesgo. La ingeniería es un compromiso entre tres cosas: seguridad, economía e información. Con buena información sin sacrificar la seguridad, se puede obtener economía en los diseños.

Para obtener información se deben invertir recursos (muestreos y ensayos), pues sin ésta no se podrán hacer análisis y se caerá en la improvisación, fuente de los altos costos o de la inseguridad.

A continuación se relacionarán algunos elementos para el estudio económico del riesgo.

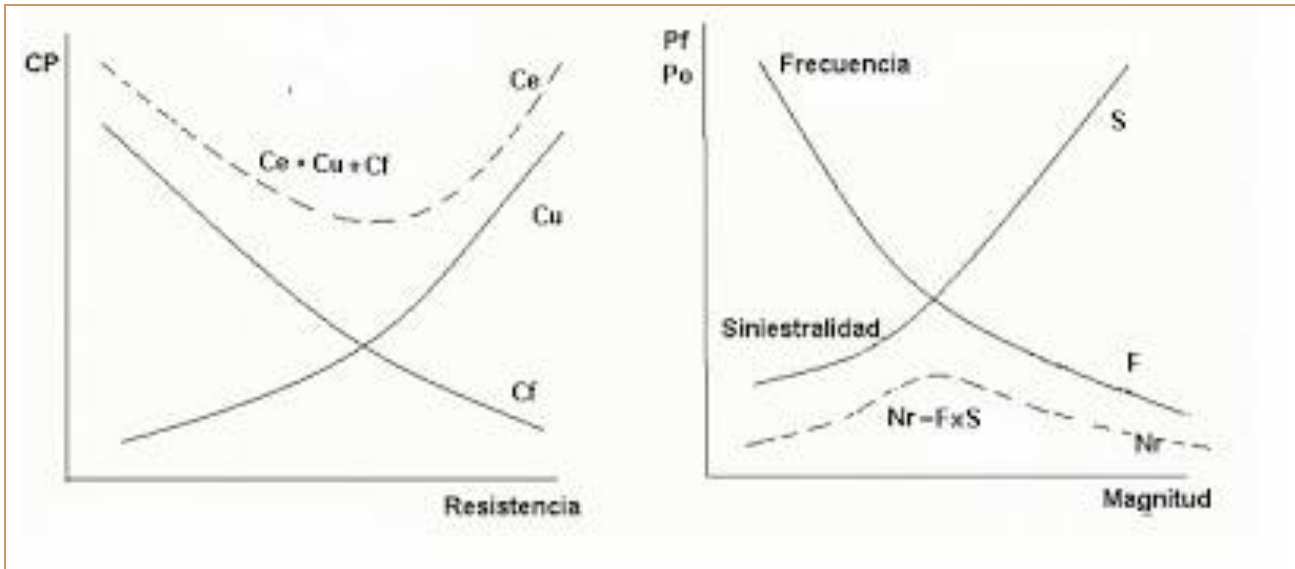


Figura 106, Evaluación del riesgo sísmico. Gráficas de Costo probable (CP) vs. Resistencia (izquierda) y de probabilidad de falla (Pf) vs. Magnitud del evento (derecha): los Costos esperados (Ce) son la suma de las funciones Csto usual (Cu) y Costo de falla (Cf). El nivel de riesgos (Nr) es el producto de las funciones de Siniestralidad y Frecuencia del evento. Según Alvaro J. González, curso de Estabilidad de Taludes, 1997.

- **El costo.** El estudio de costos de una estructura involucra el concepto de resistencia. El costo usual, que aumenta con la resistencia que se le quiere dar a la estructura es una función directamente proporcional, mientras el costo por falla, dado el evento, es inversamente proporcional a la resistencia de la estructura.

El costo finalmente resultará siendo el de construir la estructura con una resistencia dada, más el de repararla después del evento. Se observa en la gráfica que el nivel adecuado de resistencia es el mínimo de la función denominada Costo esperado (Ce), que no coincide con el máximo ni con el mínimo de resistencia factible en la estructura.

- **Nivel de riesgo.** De otro lado, se pueden relacionar la probabilidad de falla de una estructura afectada por un evento de magnitud dada y la probabilidad de ocurrencia de dicho evento. Los eventos de gran magnitud son poco probables por lo que su probabilidad de ocurrencia es una función inversamente proporcional. De otro lado, la probabilidad de daño por un evento aumenta con su magnitud por lo que la función de probabilidad resulta en éste caso directamente proporcional.

Como la ocurrencia del evento y del daño, son simultáneos, las probabilidades han de multiplicarse entre sí. El nivel de riesgo es máximo para una magnitud intermedia, y ese define la amenaza con la cual se deben diseñar los planes de mitigación del riesgo.

16.7 LAS AMENAZAS NATURALES EN COLOMBIA *

El medio ambiente incorpora dos dimensiones: **la cultura y el medio ecosistémico.**

Por lo tanto: dado que el **medio ambiente relaciona dos sistemas altamente complejos, como lo son el sistema social y el sistema natural, en la relación Sociedad y Naturaleza**, la surge la problemática de los desastres naturales que aparece en la interface de los procesos sociales, económicos y culturales, con la atmósfera, la biosfera, la hidrosfera, la litosfera y la antroposfera.

Desde esta perspectiva, **la información relativa a las amenazas** naturales y antrópicas, resulta de vital importancia **para la gestión del riesgo**, mediante políticas, programas y acciones de **prevención y mitigación de los desastres.**

En Colombia, donde el 86% de la población se encuentra en zonas de nivel de amenaza sísmica apreciable, posiblemente, **el escenario de mayor riesgo sísmico es Bogotá.**

Además, Colombia posee tres segmentos volcánicos, donde se localizan cerca de 15 volcanes activos que requieren acciones estructurales de Ordenamiento Territorial y Vigilancia Volcánica.

Mientras la mayor amenaza volcánica de Colombia es el **Cerro Machín**, el mayor riesgo volcánico se asocia al **Volcán Galeras.**

Por el Cambio Climático, para **Colombia se prevé un calentamiento** de 2°C en la zona andina montañosa, y de 3°C en las regiones planas costeras, insulares y del oriente, fenómeno que **modificará las zonas de vida** variando su altitud entre 300 y 500 m, con **graves consecuencias** sobre el patrimonio hídrico, la aptitud de los suelos y varios ecosistemas. Adicionalmente, se incrementarán las **tasas de erosión** marina en los medios costeros.

Las **regiones más deforestadas** de Colombia: la Andina, la del Caribe y la Orinoquía, con la mayor frecuencia e intensidad de los **fenómenos hidrogeológicos extremos**, consecuencia del Calentamiento Global, estarán en mayor riesgo por las **inundaciones lentas** y relativamente periódicas de las planicies deprimidas o zonas de ciénaga, y por las **inundaciones súbitas** y de incierta ocurrencia, causadas por avenidas de ríos o por eventos indirectos.

Veamos entonces los determinantes del **Riesgo local y del Riesgo de cúmulo**, y las zonas con Alto nivel de Amenaza, para las diferentes amenazas naturales, en Colombia.

16.7.1 Frecuencia, daño y extensión de algunas amenazas

Fenómenos de las amenazas	Frecuencia por siglo	Siniestralidad esperada	Área afectada
Terremotos Fuertes (I>VII)	300	20%-50%	500 km ²
Flujo de Lava Volcánica	10-100 veces	20%-100%	1-10 km ²
Cenizas Volcánicas	1-5 veces	<10%	<1 millón km ²
Flujo Piroclástico	1-5 veces	70%-100%	1-10 km ²
Flujo de lodo Volcánico	1-10 veces	50%-100%	10-100 km ²
Erupción Lateral o Blast	1-3 veces	70%-100%	<1500km ²
Gases volcánicos	1-5 veces	1%	<1000km ²
Inundaciones súbitas	50-500	50% a 100%	1-10 km ²
Inundaciones lentas	200-4000	10%-50%	10-100 km ²
Deslizamientos de tierra o roca	500-10000	50%-100%	1 a 5 km ²
Huracanes Fuertes Grado 3 a 5.	100-500	20%-50%	<50000km ²
La Niña (T<-1,5°C)	1-8	<20%	<1 millón km ²
El Niño (T>+1,5°C)	1-12	<20%	<1 millón km ²
Incendios forestales		50%-70%	<500 km ²

Fenómeno	Posible control	Riesgo local o específico	Riesgo total o de cúmulo
Terremotos Fuertes (I>VII)	No	Reducido (4)	Moderado (3)

Flujo de Lava Volcánica	Si	Agravado (1)	Bajo (5)
Cenizas Volcánicas	No	Reducido (4)	Bajo (5)
Flujo Piroclástico	No	Reducido (4)	Moderado (3)
Flujo de lodo Volcánico	Duda	Mediano (2)	Reducido (4)
Erupción Lateral o Blast	No	Muy Bajo (6)	Agravado (1)
Gases volcánicos	Duda	Reducido (4)	Bajo (5)
Inundaciones súbitas	Duda	Agravado (1)	Bajo (5)
Inundaciones lentas	Duda	Mediano (2)	Reducido (4)
Deslizamientos de tierra o roca	Si	Mediano (2)	Reducido (4)
Huracanes Fuertes Grado 3 a 5.	No	Reducido (4)	Bajo (5)
La Niña (T<-1,5°C)	No	Agravado (1)	Reducido (4)
El Niño (T>+1,5°C)	No	Agravado (1)	Reducido (4)
Incendios forestales	Duda	Mediano (2)	Mediano (2)

Cuadro A: Riesgo específico y de Cúmulo para las amenazas naturales

16.7.2. ¿Dónde y cómo?

Nivel de Amenaza	Nivel Alto	Nivel Medio a Bajo
Terremotos Fuertes (I>VII)	Costa Pacífica, Eje Cafetero, Santanderes, Cauca, Valle, Margen Llanero, Atrato	Antioquia, Cundinamarca, Tolima Huila, Boyacá
Flujo de Lava Volcánica		Nariño, Huila, Eje Cafetero, Cauca
Cenizas Volcánicas	Nariño, Huila, Eje Cafetero, Tolima, Cauca	Cundinamarca, Boyacá, Antioquia
Flujo Piroclástico		Nariño, Huila, Eje Cafetero, Cauca, Tolima

MOVIMIENTOS MASALES <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

Flujo de lodo Volcánico	Huila, Tolima, Caldas.	Risaralda, Nariño, Cauca, Valle, Quindío.
Erupción Lateral o Blast		Huila, Tolima, Cauca, Nariño, Huila, Tolima, Valle, Eje Cafetero
Gases volcánicos	Tolima, Nariño, Cauca, Huila, Eje Cafetero	

Nivel de Amenaza	Nivel Alto	Nivel Medio a Bajo
Inundaciones súbitas	Todos los Departamentos Andinos	
Inundaciones lentas	Chocó, Cundinamarca, Antioquia, Santander, Nariño	Eje Cafetero, Tolima, Valle, Santanderes, Huila, Cauca, Nariño, Boyacá
Deslizamientos de tierra o roca	Todos los Departamentos Andinos	
Huracanes Fuertes Grado 3 a 5.	Santanderes, Boyacá, Antioquia, Chocó	Eje Cafetero, Tolima, Valle
La Niña (T<-1,5°C)	Todos los Departamentos Andinos	
El Niño (T>+1,5°C)	Todos los Departamentos Andinos	
Incendios forestales	Santanderes, Cauca, Cundinamarca, Boyacá, Huila, Nariño, Valle, Tolima, Eje Cafetero	

Cuadro B: Geografía de las amenazas naturales en Colombia

* Ref: Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia, en <http://www.bdigital.unal.edu.co/1580/2/gonzaloduqueescobar.200915.pdf>

16.8- MANIZALES, CIUDAD DE LADERAS

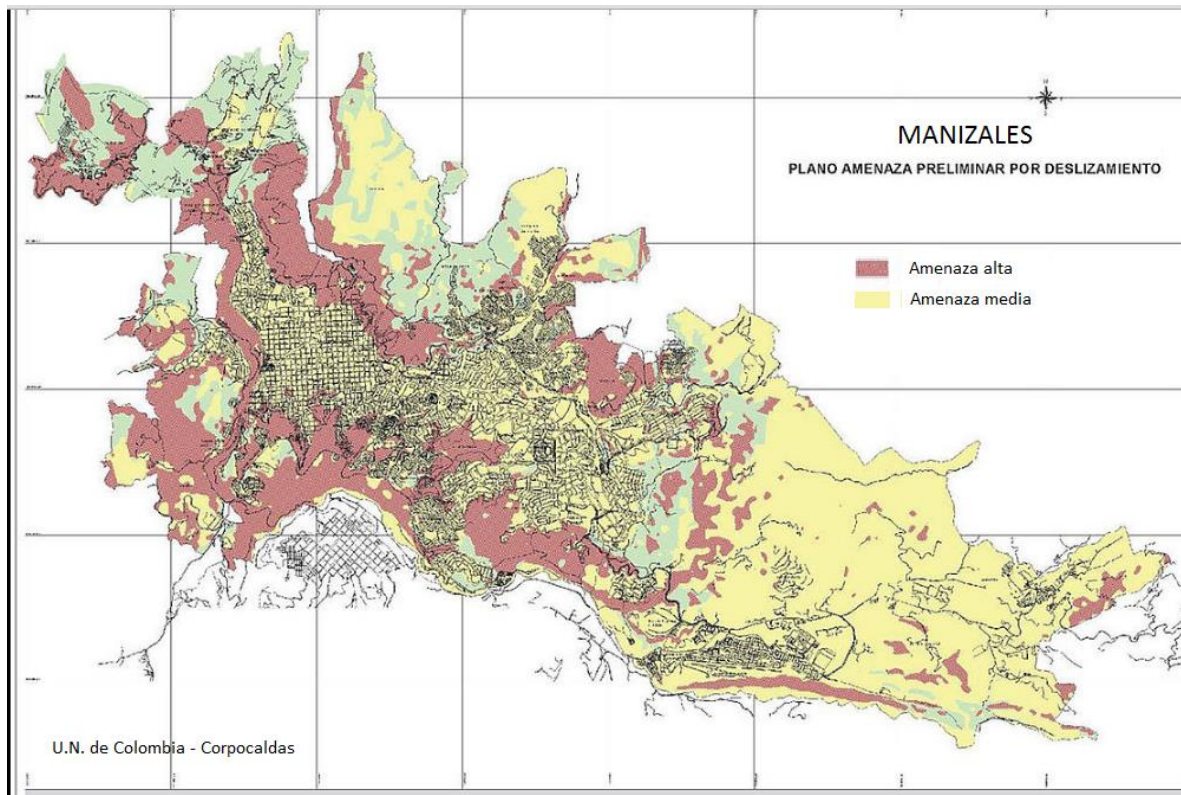


Imagen 70: Mapa de amenaza por deslizamiento, en Manizales. Programa GIRD-M, U.N. de Colombia-Corpocaldas.

Por estar la ciudad emplazada en lo alto de un ramal cordillerano del trópico andino, después de haber contribuido a la creación del Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres gracias a las enseñanzas obtenidas del desastre de la erupción del Ruiz (1985), de los sismos de la zona de subducción (1979 y 1995) y del terremoto del Quindío (1999), para enfrentar la creciente amenaza de eventos climáticos extremos asociados al calentamiento global, nuestras instituciones actuando en conjunto han venido avanzando en la cultura del riesgo relacionado con la amenaza climática en el ambiente urbano y periurbano de nuestros frágiles suelos, mediante dos estrategias: la apropiación social del territorio orientada a la mitigación de la vulnerabilidad global, y la generación de conocimiento sobre la amenaza por ser vital para la gestión integral del riesgo.

En cuanto a lo primero, tras los desastres ocurridos en Manizales asociados a la ola invernal del 2003 y derivados de acciones antrópicas, como el uso y manejo conflictivo del hábitat periurbano relacionado con la falta de cultura ambiental, falencias de planeación, y fenómenos de migración y pobreza, la administración municipal crea el programa Guardianas de la Ladera, como una estrategia de empleo con perspectiva de género para grupos vulnerables ubicados en zonas afectadas o expuestas a deslizamientos. Dicho programa dirigido a capacitar a mujeres cabeza de familia en el cuidado y mantenimiento preventivo de laderas, y de las obras de estabilidad de las comunas más afectadas, que se diseñó con tres componentes: vigilancia de laderas, limpieza y mantenimiento de obras, y formación y capacitación, para el año 2006 contaba con 200

mujeres vinculadas al cuidado de medio centenar de zonas críticas, actuando con liderazgo en su entorno local, mejorando la capacidad de respuesta de su propia comunidad.

En 2013 cuando cumplía diez años el citado programa, además de haber extendido el cuidado a más de 700 obras de infraestructura, ya había replicado la exitosa experiencia en otros 10 municipios caldenses: Chinchiná, Neira, Aranzazu, Salamina, Supía, Manzanares, Pensilvania, Marquetalia, Victoria y Norcasia; y para 2014 con una inversión de 1310 millones de pesos aportados por la Secretaría de Obras Públicas, la Unidad de Gestión del Riesgo, Aguas de Manizales y Corpocaldas, vincula durante once meses a 100 madres cabeza de hogar. Actualmente, por su ejemplar labor Guardianas de la Ladera ha sido reconocido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, al sugerirlo como estrategia para enfrentar la amenaza por el cambio climático en otras ciudades de Colombia.

Y en cuanto al estudio y monitoreo de la amenaza asociada a la susceptibilidad de los deslizamientos, en el marco del convenio interinstitucional celebrado entre la Universidad Nacional de Colombia y Corpocaldas, además de expandir a 10 unidades la red de acelerógrafos, de la actualización del sistema de información sísmica de Manizales, y de la evaluación probabilística del riesgo sísmico de su sistema de acueducto, donde se incluye el cálculo y mapa de daños esperados, con este proyecto se ha expandido a casi medio centenar de estaciones el sistema de instrumentación hidrológico e hidrometeorológico, para permitir el monitoreo telemétrico y en “tiempo real” de las cuencas urbanas y algunas zonas rurales críticas.

Para acometer esta tarea y actualizar la microzonificación sísmica de Manizales mediante la aplicación de una metodología que contempla la evaluación de efectos de sitio, cabe destacar la elaboración de un estudio cartográfico y fotográfico de la evolución morfológica del área urbana a partir de 1848, que tras pasar por nueve décadas concluye en 2010 con un mapa de formaciones superficiales, drenajes, modelados, cortes y rellenos antrópicos de la ciudad.

Además de su significativo impacto, lo novedoso del sistema de alerta temprana, que abriga además las cuencas de las quebradas El Guamo, Manizales y Olivares, se asocia a la forma de prevenir desastres o mitigarlos mediante su pronóstico a partir de la relación lluvia-deslizamiento, estimando la probabilidad espacial y temporal de los eventos en función del nivel de lluvias antecedentes acumuladas y del aguacero detonante, herramienta que ahora se pretende ajustar investigando en 10 zonas piloto de la ciudad, el tipo y grado de correlación entre la ocurrencia de dichos fenómenos geodinámicos, con los niveles piezométricos observados en varios pozos de dos cuenca urbanas vecinas.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2016.09.12]

16.9- 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.

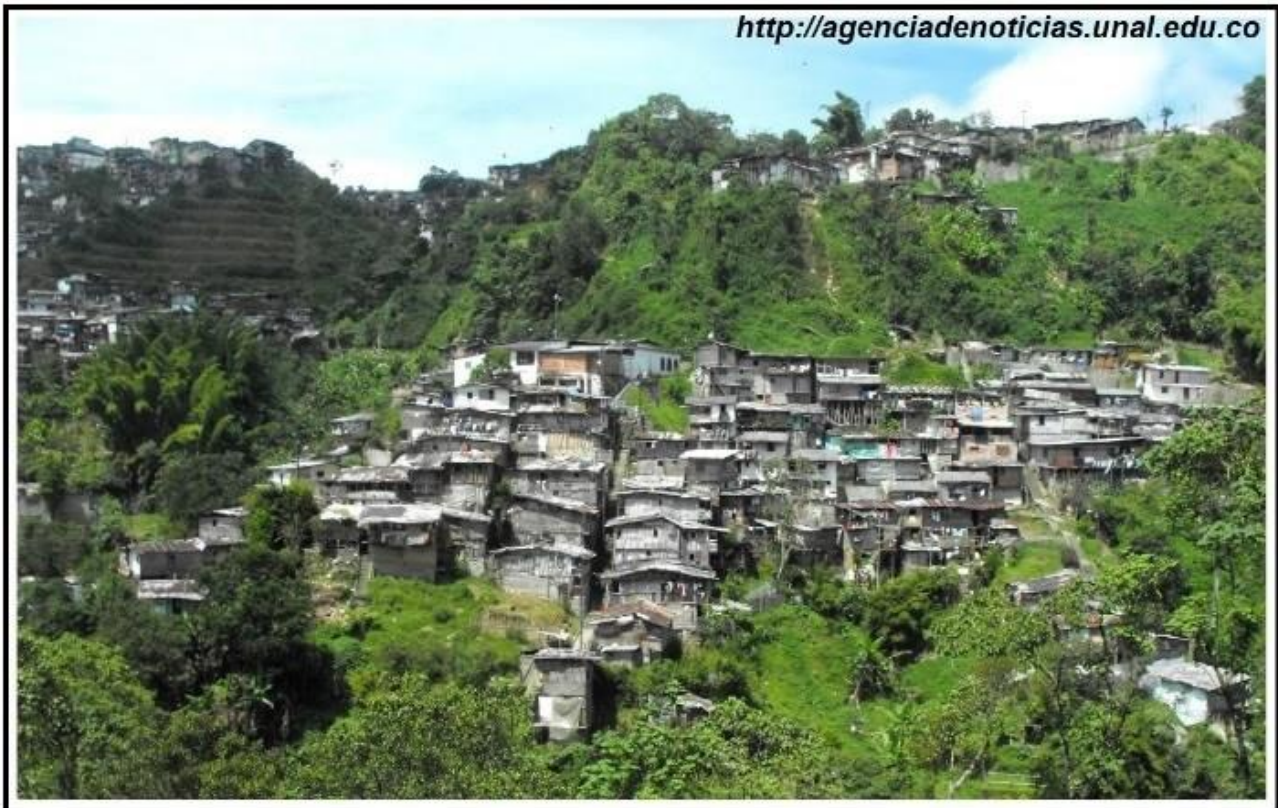


Figura 71: Ladera urbana de la Comuna San José, en la cuenca de la quebrada Olivares. 2015.05.26; Agencia de Noticias U.N. Manizales.

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.

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.

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.

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.

[Razón Pública, Bogotá. Domingo, 30 Abril 2017]

Lecturas complementarias

Geotecnia y medioambiente

La primera parte de este módulo partirá de la taxonomía de las ciencias para entrar al problema de la tecnología, al del medio ambiente y luego al del desarrollo. El documento se ha actualizado al 2006. La parte segunda del módulo tiene como finalidad introducir al geotecnista en la problemática que debe enfrentar en el medio tropical andino, como profesional de las ciencias de la tierra. En él se examinarán los problemas propios de nuestros suelos y los desafíos para el geotecnista. Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1704/1/geotecniayma.pdf>

Manizales: política pública ambiental y gestión del riesgo.

Reflexiones para aportar a la construcción democrática de una respuesta estructural a uno de los conflictos más emblemáticos que ha vivido Manizales en el ocaso de la ola invernal de las dos Niñas de los últimos años, cuando la crisis del agua puso en evidencia la ausencia de una política pública ambiental que abrigue, entre otros aspectos socioambientales del territorio, la problemática del riesgo asociado a los fenómenos.

Ver en: <http://bdigital.unal.edu.co/6523/1/gonzaloduqueescobar.201218.pdf>

Geomecánica de las laderas de Manizales.

Este documento evalúa la susceptibilidad espacial de las laderas de Manizales, una ciudad intermedia relativamente compacta, ubicada en una zona de alto riesgo sísmico y geotécnico, sobre las laderas del trópico andino. La fragilidad de los suelos residuales, la fuerte topografía, la actividad neotectónica y el clima severo, son factores naturales de inestabilidad que explican un frágil equilibrio de las laderas de la ciudad, que se rompe a causa de factores antrópicos relacionados con el urbanismo descontrolado, las actividades productivas inconvenientes y la falta en la planificación relacionado con un ordenamiento territorial conflictivo.

Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1603/>

Inestabilidad de laderas en el trópico andino - Caso Manizales.

Anotaciones sobre riesgo, amenaza y vulnerabilidad, probabilidad de falla de obras civiles expuestas a una amenaza, y anotaciones sobre las consecuencias del cambio climático en el panorama de Colombia y el riesgo sísmico para Manizales, como insumos de importancia para comprender mejor los desafíos para atender las dinámica de los desastres asociados a los movimientos en masa en las temporadas invernales.

Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6655/1/gonzaloduqueescobar.201223.pdf>

El desastre en el río Mira.

Un llamado a la solidaridad y a la previsión por el desastre en la costa pacífica de Nariño: por el desbordamiento del cauce el río Mira, hubo daños severos en Barbacoas y Telembí, fueron devastados caseríos ribereños de los que han desaparecido unos 26 moradores, resultaron anegadas unas 20 mil hectáreas de cultivo y destruidos caminos, acueductos y redes eléctricas; además, hoy se estiman en 11 mil los damnificados en solo Tumaco, la zona más afectada con el fatídico evento del 16 de febrero de 2009 ocurrido en el sur de Colombia. Jaime Arocha de El Espectador en su artículo del anteayer titulado "El del río Mira, un desastre natural?", advierte sobre las severa acciones antrópicas que han venido degradando la cuenca, entre las que destaca destrucción casi generalizada del bosque andino tropical húmedo, para destinar las tierras a cultivos limpios de palma de aceite.

Ver en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1592/1/gonzaloduqueescobar.200911.pdf>

ENLACES GEOAMBIENTALES



LOS ALBORES DE LA CIVILIZACIÓN

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1666/1/gonzaloduqueescobar.20093.pdf>

EL INESTABLE CLIMA Y LA CRISIS DEL AGUA

<http://www.bdigital.unal.edu.co/51802/1/elinestableclimaylacrisisdelagua.pdf>

CAMBIO CLIMÁTICO Y PASIVOS AMBIENTALES DEL MODELO URBANO

<http://www.bdigital.unal.edu.co/56963/1/cambioclim%C3%A1ticoypasivosambientalesdelmodelourbano.pdf>

TEMAS VERDES PARA LA ECORREGIÓN CAFETERA

<https://godues.wordpress.com/2015/06/21/temas-verdes-para-la-ecorregion-cafetera/>

LA CÁTÁSTROFE DEL EJE CAFETERO EN UN PAÍS SIN MEMORIA

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1661/1/lacatastrofe.pdf>

GEOTECNIA PARA EL TRÓPICO ANDINO

<http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
(1867-2017)



MANUAL DE GEOLOGIA PARA INGENIEROS

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2017

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

Anexo 1: [Agua y Clima](#)

-

Anexo 2: [Calentamiento global en Colombia](#)

.

Anexo 3: [Desafíos del Complejo Volcánico Ruiz – Tolima](#)

.

Anexo 4: [Economía para el constructor](#)

.

Anexo 5: [Gestión del riesgo](#)

.

Anexo 6: [El Paisaje Cultural Cafetero](#)

.

Anexo 7: [La Luna](#)

Anexo 8: [¿Para dónde va el Magdalena?](#)

.

Anexo 9: [Túnel Manizales](#)

.

Anexo 10: [UMBRA: La Ecorregión Cafetera en los mundos de Samoga](#)

.

Anexo 11: [Geomecánica](#)

.

Anexo 12: [La construcción del Eje Cafetero](#)

.

Anexo 13: [Textos “verdes”](#)

.

El Autor: Gonzalo Duque-Escobar

HOME:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>

CONTENIDO: Cap01 Ciclo geológico, Cap02 Materia y Energía, Cap03 El sistema Solar, Cap04 La Tierra sólida y fluida, Cap05 Los minerales, Cap06 Vulcanismo, Cap07 Rocas ígneas, Cap08 Intemperismo ó meteorización, Cap09 Rocas sedimentarias, Cap10 Tiempo geológico, Cap11 Geología estructural, Cap12 Macizo rocoso, Cap13 Rocas Metamórficas, Cap14 Montañas y teorías, orogénicas, Cap15 Sismos, Cap16 Movimientos masales, Cap17 Aguas superficiales, Cap18 Aguas subterráneas, Cap19 Glaciares y desiertos, Cap20 Geomorfología.

[A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.](#)



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES

