

SISTEMAS DE DRENAJE CON FILTROS VIVOS PARA LA ESTABILIZACIÓN Y RESTAURACIÓN DE MOVIMIENTOS MASALES EN ZONAS DE LADERA



El movimiento masal se puede definir como el desplazamiento de un bloque de terreno de cualquier profundidad y área, causado principalmente por exceso de agua y efecto de la fuerza de la gravedad. Los movimientos masales se conocen como deslizamientos, derrumbes, coladas de barro, hundimientos, desprendimientos, aludes y desplomes (5), los cuales dependen del grado de saturación del terreno, velocidad del desplazamiento, profundidad de la masa desplazada y grado y longitud de su pendiente. Sin embargo, Dolffus (3) los agrupa con el nombre de golpes de cuchara, por sus dimensiones pequeñas, profundidad escasa y su relación directa con la intervención del hombre.



Ciencia, tecnología
e innovación
para la caficultura
colombiana

Autores

José Horacio Rivera Posada
Investigador Científico II. Suelos
Centro Nacional de Investigaciones
de Café, Cenicafé
Chinchiná, Caldas, Colombia

Edición:
Sandra Milena Marín López
Fotografías:
Horacio Rivera Posada
Diagramación:
María del Rosario Rodríguez L.
Imprenta:

ISSN - 0120 - 0178

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Chinchiná, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723
A.A. 2427 Manzales
www.cenicafe.org

Por lo general, el 98% de los movimientos en masa, están relacionados con saturación de los suelos por agua y por efecto de la deforestación de las laderas. En las zonas de ladera de la zona cafetera Colombiana, hay lotes que, aun siendo pendientes, permanecen saturados de agua en épocas lluviosas, debido a su material de origen y a la alta capacidad de retención de humedad, por el contenido alto de arcillas plásticas, de permeabilidad baja (5); estos suelos son altamente susceptibles a los movimientos en masa. Los suelos con problemas de mal drenaje generalmente presentan indicadores cualitativos en su perfil, importantes para dar diagnósticos inmediatos y oportunos, que permitan impedir una tragedia, tales como la

presencia de agua permanente en superficie, colores gris oliva, azul, o moteamientos, dentro del perfil del suelo, debido a la baja o ninguna oxidación del hierro (5) (Figuras 1a y 1b), presencia de vegetación propia de suelos anegados, y el olor a gas metano o gas de los pantanos.

Los problemas más complicados de drenaje reclaman un reconocimiento y estudios preliminares más detallados, que determinen la fuente del agua perjudicial, como llega el agua a la zona anegada y cuáles habrán de ser los criterios que se apliquen al trazado. Sin embargo, el sistema de drenaje sólo podrá proyectarse después que se haya identificado la naturaleza del problema (13).



Figura 1. Sitio anegado por aguas superficiales (a) y subsuperficiales (b). Área potencial de deslizamiento. Presencia de horizonte con moteados de color gris azulado, como consecuencia de la oxidación baja del hierro, por problemas de mal drenaje interno del perfil del terreno (b).

Drenaje como factor de estabilización

Los drenajes superficial y subsuperficial (drenajes profundos) juegan un papel importante en la estabilización de los suelos a las remociones masales.

La captación de aguas de escorrentía evita la concentración, infiltración y elevación de los niveles freáticos en el suelo, al igual que la captación de

aguas de techos, aguas negras de edificaciones, aguas de cunetas de carreteras y de beneficiaderos. No obstante, dependiendo del tipo de suelo y de la intensidad, duración y frecuencia de los aguaceros, a veces estas obras no son suficientes y deben complementarse con sistemas de drenaje subsuperficial.

El drenaje interno contribuye a la estabilización de masas de suelo, ya que logra controlar el flujo de agua subterránea, al tiempo que reduce las presiones de poros y aumenta la cohesión y la resistencia del suelo a los deslizamientos. Por lo tanto, no es necesaria la construcción de muros y pantallas de concreto, para estabilizar terrenos con problemas de mal drenaje, los cuales en invierno colapsan fácilmente al saturarse el terreno y perder su cohesión natural, quedando las obras sueltas o fracturadas como consecuencia de la presión de poros. Por el contrario, los sistemas de drenaje le ofrecen mayor estabilidad a los suelos, debido a que los induce a

conservar su cohesión natural, lo que sería menos costoso, eficiente y eficaz en períodos invernales normales y con eventos del Fenómeno de La Niña.

El drenaje interno del terreno, permite el abatimiento del nivel freático que puede tener efecto benéfico, no solo en las masas de lotes y taludes, sino también en las capas inferiores de los pavimentos de las carreteras y en los terraplenes (5), también en la protección de viviendas que han presentado agrietamientos por desplazamiento del terreno como consecuencia de aguas internas, las cuales por desconocimiento son desalojadas y sujetas a su pérdida total, cuando pueden salvarse. Debe entenderse que además del drenaje, es necesario un complemento biológico, que se logra con la siembra de vegetación multistrata, que amarra el terreno en diferentes estratos, para dar el equilibrio natural al mismo y evitar los deslizamientos que aquejan al país en los períodos invernales.

Efecto de la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea en la estabilización de los suelos

Otro factor importante y complementario a un buen sistema de drenaje en la estabilidad de las laderas, es el refuerzo mecánico que proporcionan las raíces de la vegetación a la resistencia del suelo (4), ya que los sistemas radicales dan un armazón cohesivo, bien porque llegan a entrelazarse cuando alcanzan ciertos estados de desarrollo (raíces fasciculadas), o porque se insertan entre las grietas y aberturas de substratos más resistentes (raíces pivotantes) (15).

La vegetación arbórea y arbustiva permite que en el perfil del suelo se presenten sistemas radicales de anclaje mayor, en lo profundo y hacia los lados, aumentando su resistencia a la ruptura y con ello la estabilidad del terreno a los movimientos masales (Figura 2). Esto ha sido corroborado en trabajos reportados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en el área comprendida entre Manizales y Chinchiná, mediante seguimiento aerofotográfico y comprobaciones de campo, de zonas con sistemas agroforestales que pasaron a monocultivos, en suelos inestables, pedregosos, de pendientes fuertes y longitudes largas (6). Se comprobó que después de dos a seis años de transformado el sistema agroforestal, con eliminación de las especies forestales, en épocas lluviosas se presentaron ocho derrumbes por

kilómetro cuadrado, debido a la pérdida de estabilidad de los suelos, como consecuencia de la suspensión del anclaje y amarre ejercido por los sistemas radicales de los árboles forestales, ya que al cortarlos se inicia un proceso de pudrición de las raíces (6). Lo anterior es confirmado por varios autores quienes afirman que un tiempo después de remover la vegetación en zonas montañosas, aumenta la frecuencia y la cantidad de deslizamientos y



Figura 2. Sistema de raíces de la vegetación arbórea, la cual permite anclaje mayor en lo profundo y hacia los lados en el perfil del suelo. Se observa la exuberancia del sistema radical de un árbol de guamo cafetero, *Inga* spp.

derrumbes (1, 12, 17, 18, 19). Las raíces de las plantas aumentan la resistencia a la ruptura del suelo, en forma directa, por reforzamiento mecánico, e indirectamente por la extracción del agua del suelo, por transpiración (16), haciendo que el suelo permanezca en condición de campo, es decir, con un contenido de humedad que permita el desarrollo normal de las plantas. El refuerzo mecánico se manifiesta en un aumento considerable en la componente cohesiva, debido al peso de la vegetación y a la interacción entre el suelo y las raíces (12). De ahí, que la vegetación, al remover cantidades considerables de agua del suelo por evapotranspiración, disminuye la presión de poros del mismo. Por consiguiente, cuando se remueve la vegetación se acelera la ocurrencia de deslizamientos (19). Además, al cortar la vegetación, se disminuye la fuerza normal que ésta ejercía al suelo y con ello, se reduce la resistencia del mismo a la ruptura.

Los deslizamientos no son ocasionados ni acelerados por el peso de los árboles, con lo cual se ha justificado la deforestación de las laderas en zonas urbanas y rurales del país, reemplazándolos por muros y pantallas ancladas de concreto, ayudando con ello a una mayor ocurrencia de deslizamientos en los períodos invernales, por la pérdida de cohesión y del anclaje natural que ejercía la vegetación preexistente.

Se ha encontrado que la presión que ejerce un metro cúbico de concreto sobre un terreno, es de 2.400 kg.m², mientras que la presión de un árbol es de 2,0 kg.m², lo que indica que reemplazar la vegetación por muros o pantallas de concreto, no es la mejor solución contra los deslizamientos.

Los movimientos masales se han constituido en uno de los fenómenos naturales más destructivos que afectan a los seres humanos, causando catástrofes, víctimas humanas y pérdidas por miles de millones de dólares cada año (14).

Se estima que las pérdidas causadas por este tipo de procesos degradativos, constituyen una cuarta parte de las ocasionadas por desastres naturales (18), ya que se causan daños grandes a la infraestructura y se pierden productos agropecuarios y áreas extensas de suelos agrícolas y forestales (8).

La tala completa de la vegetación arbórea, para el establecimiento de pastos y cultivos, genera una inestabilidad de las formaciones superficiales, expresada por una gran cantidad de movimientos en masa. En

pendientes fuertes, parte de la estabilidad se debe al enraizamiento (6), tanto por el anclaje vertical como horizontal (Gray, 1971, Dyrnes, 1967 citados por Florez (6)).

De acuerdo con estudios del IGAC, la construcción de vías por zonas de inestabilidad potencial, acelera la remoción en masa y las convierte frecuentemente en sitios de inestabilidad crónica, con reactivaciones en cada período lluvioso (6).

En España, los estudios relacionados con las pérdidas debidas a fenómenos naturales, sitúan a los deslizamientos en el tercer lugar en pérdidas económicas, detrás de las inundaciones y la erosión hídrica (Ayala *et al.*, 1987, citados por Tragsa y Tragsatec (15)). Una situación similar se observa en Sudamérica, donde los derrumbes se clasifican como uno de los cinco fenómenos naturales más destructivos y que más pérdidas económicas y número de muertes causan al año (11). Entre 1960 y 1993, los movimientos masales dejaron cerca de 6.084 víctimas humanas, 4.117 damnificados y alrededor de 7 millones de dólares en pérdidas (11). En Nagasaki (Japón), en 1982, un aguacero intenso (127 mm.h⁻¹), activó 4.300 derrumbes, que causaron la muerte de 299 personas y destruyeron 2.200 casas (2).

De acuerdo con Gálvez *et al.* (7) y el IDEAM (9), en Colombia el problema de movimientos masales viene creciendo a través de los años, con pérdidas grandes de vidas humanas, de infraestructura y damnificados. Es así como en 1981, se reportaron en el país 34 movimientos masales, con 23 eventos reportados en Antioquia. En el año 1987, ocurrieron 125 movimientos masales, siendo Caldas el mayor afectado, con un saldo de 75 eventos. En 1999, se presentaron 417 movimientos masales, ocupando Antioquia el primer lugar, con 56 eventos.

En el sector rural del municipio de Palestina (Caldas), con un aguacero mayor de 90 mm en 24 horas, ocurrido el 17 de noviembre del año 2000, se presentó un gran número de derrumbes, afectando 120 fincas cafeteras aproximadamente, con detrimento de grandes áreas sembradas en café, destrucción de carreteras, beneficiaderos y viviendas. Así mismo, en el mes de mayo del año 2001, un aguacero de 150 mm, durante 24 horas, ocurrido en la cuenca cafetera del río San Francisco, en el departamento de Risaralda, ocasionó movimientos masales con daños por un valor de dos mil millones de pesos. En el presente año, dada la persistencia

de las lluvias en la región Andina y el pronóstico para los próximos días, se mantiene la alerta roja y la amenaza por deslizamientos, dada la saturación alta de los suelos en los departamentos de Norte de Santander, Santander, Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Caldas, Risaralda, Quindío,

Tolima, Huila, Valle, Cauca y Nariño. Se mantiene la alerta naranja en el Piedemonte Llanero en los departamentos de Cundinamarca, Meta, Casanare y Arauca, y en el Piedemonte Amazónico de los departamentos de Caquetá y Putumayo (10).

Materiales para el establecimiento de filtros vivos

Estos materiales deben ser fáciles de conseguir en la zona y de reproducción vegetativa rápida, como: guadua (*Bambusa guadua*), guaduilla (*Phylostachis aurea*) chusque (*Chusquea* spp.), nacedero o quebrabarrigo (*Trichanthera gigantea*), matarratón (*Gliricidia sepium*), sauce (*Salix* spp.) y arboloco (*Montanoa quadrangularis*), entre otros. No obstante, el material más usado es la guadua, debido a que es abundante en la Zona Andina, de conformación recta, gran flexibilidad, peso liviano, y se deja trabajar y acomodar fácilmente.

En la Figura 3, se presentan las imágenes de los deslizamientos más frecuentes en cultivos de la Zona Cafetera Colombiana: cítricos (a), café (b) y potreros (c).

En la Figura 3, se percibe, que no es conveniente el establecimiento de monocultivos en suelos con pendientes fuertes (mayores del 75 %), lo que indica la necesidad de propiciar sistemas agroforestales, silvopastoriles o agrosilvopastoriles, dependiendo de la vocación de uso de cada unidad de suelo, con el fin de mitigar los problemas de deslizamientos. No obstante, cuando estos se presentan en zonas con bosques protectores, o en sistemas agroforestales o silvopastoriles, es importante hacer un buen inventario y diagnóstico a la luz de las relaciones: Roca – Suelo – Grado y longitud de la pendiente – Clima – Planta – Animal – Infraestructura – Hombre, que permita determinar la relación causa – efecto del proceso degradativo, y no proceder a eliminar



Figura 3. Deslizamientos en cultivos de cítricos (a), café (b) y pastos (c).

la vegetación arbórea y arbustiva por la simple creencia errónea de que el problema ha sido ocasionado por el peso de la misma. Por lo general estos deslizamientos son previsibles y prevenibles, ya que están asociados a la presencia de aguas superficiales y subsuperficiales, y a su mal manejo, tal como ha ocurrido actualmente con el deslizamiento que dejó sin agua a la ciudad de Manizales desde el Miércoles 19 de Octubre de 2011, donde la posible concentración de aguas de escorrentía

provenientes de un potrero localizado en la parte superior de la Planta de Tratamiento de Agua Luis Prieto, ubicada en el Sector de Gallinazo, pudo ser la causa principal, y cuyo reestablecimiento es incierto. Investigaciones realizadas por Cenicafé (5), han demostrado, que los caudales de las aguas de escorrentía son tres veces mayores aproximadamente en un potrero que en un bosque.

Filtros vivos para sistemas de drenaje en prevención y estabilización de deslizamientos

Los filtros vivos consisten en capas superpuestas de materiales vegetales de reproducción vegetativa fácil y rápida (rebrote de yemas entre 45 – 60 días), especialmente hechos con guadua, nacedero y leucaena, entre otras especies, ubicados dentro de un sistema de drenaje abierto, en zanjas o brechas, que en algunos casos y dependiendo de la saturación del terreno, se pueden establecer en forma de espina de pescado (Figura 4). La unión entre drenajes con filtros vivos debe tener un ángulo igual o menor de 45°. En terrenos pendientes, los filtros deben ir sostenidos con trinchos vivos escalonados, bien empotrados, y con una distancia entre ellos de 3 a 5 m, dependiendo de la pendiente del terreno, para evitar que estos se desplacen ladera abajo, ya que se deben construir en el sentido de la pendiente, para evacuación rápida y segura de las aguas tanto internas como de escorrentía.

Se deben utilizar preferiblemente guaduas jóvenes, menores de dos años, ya que en esa edad el material rebrota fácilmente. No obstante, como se utilizan varias capas o tendidos de guaduas, éstas se deben combinar entre sí, colocando en el fondo las guaduas más maduras

y sobremaduras, y en la última capa, las más jóvenes, para favorecer su rebrote. Las guaduas deben ir selladas en sus extremos con sus tabiques respectivos o tapones naturales, y conservando las yemas de los rebrotes en buen estado.



Figura 4. Sistema de drenaje con filtros vivos en espina de pescado, para evacuar aguas subsuperficiales en suelos originados de conglomerados, altamente saturados.

Importancia de un sistema de drenaje con filtros vivos

Un sistema de drenaje con filtros vivos toma importancia desde el mismo momento en que el terreno muestra problemas de mal drenaje, y se hace imprescindible cuando el suelo está totalmente saturado y ha llegado a su límite plástico superior, es decir, a su estado líquido, donde la masa ha perdido completamente la cohesión y estabilidad, quedando sueltas las obras de infraestructura y la misma vegetación, dado que se dificulta hacer cualquier

tipo de estructura de estabilización. En esta condición, al abrir una zanja, ésta se cierra inmediatamente, lo que obstaculiza la estabilización del terreno y salida del agua en forma inmediata. En estos casos, es necesario hacer tramos cortos de zanja, entre 1 m y 2 m de longitud en el sentido de la pendiente, y tener listo en el sitio el material que va a servir como filtro vivo, el cual debe colocarse inmediatamente, antes que la zanja se cierre.

Por eso es importante, iniciar los filtros vivos desde arriba hacia abajo.

Funciones de un filtro vivo

Con un sistema de filtros vivos, se busca:

- El abatimiento rápido de las aguas internas que hacen presión dentro de la masa porosa del suelo, evitando que los poros exploten y agrieten el terreno, devolviéndole a éste su estado normal de capacidad de campo, que permita conservar o aumentar su cohesión natural y estabilidad.
- Convertir el sistema de drenaje en un bosque de galería.
- Conservar en equilibrio el contenido de humedad del suelo, al aumentar la capacidad evapotranspiradora del follaje de la vegetación establecida.
- Aumentar en el tiempo y en el espacio el refuerzo mecánico del suelo, a través del entramado de las raíces de la vegetación establecida a partir del filtro vivo.

¿Cuándo construir un sistema de drenaje con filtros vivos?

- Como gestión del riesgo, en forma preventiva, y cuando por efecto de las lluvias o cualquier otro tipo de humedad de origen natural, no antrópico, se presenten áreas totalmente anegadas o saturadas, con agrietamientos pequeños. De esta forma se puede evitar cualquier tipo de deslizamiento.
- En control, cuando el suelo ha llegado a su estado líquido superior, que es cuando se presentan los deslizamientos de tipo remontante, con flujos de lodo, que ocasionan las tragedias humanas y de infraestructura, y se hace necesario la estabilización del terreno en forma inmediata, para evitar nuevos desplazamientos aguas arriba y con ello nuevas tragedias.

Detección de problemas de movimientos en masa de un terreno

Inicialmente como alerta temprana, se manifiestan como indicadores cualitativos, la presencia de agrietamientos del terreno, árboles inclinados en contra de la pendiente,

fisuras de pisos y paredes en viviendas y todo tipo de infraestructura, entre otros. No siempre la inclinación de los árboles son sinónimos de movimientos en masa, ya que hay especies que crecen inclinadas, buscando la luz solar. Por lo general, la inclinación de los árboles por efecto de un movimiento en masa, siempre va acompañada de agrietamientos en el terreno y presencia de aguas subsuperficiales.

Orientaciones en la construcción de un sistema de drenaje con filtros vivos

Se debe recorrer toda la zona afectada por movimientos en masa para tener criterios y poder determinar con exactitud los sitios de inicio de las zanjas de drenaje y sus profundidades. Las zanjas se deben empezar en los sitios más blandos del terreno, donde al pisar éste se hunde fácilmente, o donde aflora el agua subsuperficial. Las zanjas se profundizan hasta encontrar terreno totalmente firme o hasta hallar la roca sin disturbar, que por efecto de la pendiente del terreno y la saturación del mismo, obra como un plano de deslizamiento. También se debe tener en cuenta el color de las diferentes capas del perfil del suelo. Cuando hay problemas de saturación y mal drenaje, se presentan horizontes o capas con tonos grisáceos o azulosos (Figura 1). El olor a gas metano, es otra característica que permite identificar suelos con mal drenaje. Éstos son indicadores cualitativos de mal drenaje que orientan el sitio hasta donde se deben hacer las zanjas para posteriormente colocar los filtros vivos. Las zanjas deben quedar por debajo de la capa de color grisáceo, las cuales en ocasiones pueden llegar hasta 3 m de profundidad o más.

Dimensiones de las zanjas de drenaje. Éstas dependen del caudal que se pretende evacuar. Por lo general, las zanjas de drenaje deben tener como mínimo un ancho entre 0,3 a 0,5 m, es decir, el ancho de la zanja puede ser ocupado por 3 a 5 guaduas aproximadamente, puestas una al lado de la otra. El ancho de la zanja depende del área de terreno por drenar. La profundidad puede variar por la irregularidad del terreno entre 0,5 m a > 1,0 m. Las zanjas como se dijo anteriormente, deben ser construidas en el sentido de la pendiente, para la evacuación rápida de las aguas subsuperficiales (Figuras 5 a, b y c). Las guaduas para filtros vivos, no se deben rajarse ni perforar internamente.

Número de capas superpuestas para conformar un filtro vivo.

Dentro de las zanjas y dependiendo de la profundidad de la misma, se deben colocar en el fondo entre 3 y 5 camas de guaduas. En la Figura 5 a, se observa el inicio de la zanja, desde el punto más alto del terreno afectado por el deslizamiento, allí se observa un material metamórfico de esquistos gráfíticos negro y bituminoso (Figuras 5 a, b, c), convirtiendo el terreno en altamente susceptible a los deslizamientos. La Figura 5 c, muestra el material rocoso de consistencia más dura, que obra como plano de deslizamiento al impedir la continuidad del agua de infiltración dentro del perfil del suelo, punto hasta el cual debe llegar la profundidad de la zanja en el presente caso. En las Figuras 5 d y e, se presenta la conformación de los diferentes tendidos de guadua, para establecer el filtro vivo. En la Figura 5 f, se indica la manera como se va colocando el filtro y la forma de sostenerlo en sus extremos con trinchos vivos en guadua. Por lo general, los trinchos que sostienen los filtros deben localizarse a distancias entre 3 a 5 m, dependiendo igualmente de la longitud del mismo. La extensión del filtro está relacionada con la uniformidad topográfica del terreno. Los trinchos deben ahondarse de tal forma que superen la profundidad del filtro, para evitar el socavamiento del fondo de la zanja, por la energía cinética de las aguas subsuperficiales, haciéndole perder efectividad al filtro vivo, el cual puede quedar socavado y sin soporte directo en el terreno.

La Figura 5 g, muestra la manera cómo se debe cubrir el filtro, inicialmente con hojarasca de caña o pasto, para posteriormente cubrirlo con tierra y pisar el terreno, para dejarlo en condición uniforme. De



Figura 5. Secuencia (a, b, c, d, e, f y g) para la construcción de un sistema de drenaje con filtros vivos. Vereda Balmoral, (Filadelfia, Caldas) (Abril 1 de 2008).

esta manera, el terreno queda apto para volver a establecer frutales como cítricos o cultivos agroforestales, tales como café con sombrío, que sería lo ideal en este tipo de suelos de origen metamórfico.

En la Figura 6, se reporta un estudio de caso, con solución exitosa de un problema de movimiento en masa, en la vereda Balmoral en Filadelfia (Caldas), el cual tenía en peligro dos viviendas. Luego de un inventario y diagnóstico integral, se llegó a un manejo sistémico de aguas superficiales y subsuperficiales, con obras de bioingeniería. Se logró la estabilización del terreno en

un plazo de 30 días, salvando igualmente las viviendas comprometidas, sin necesidad de su desalojo.

En la Figura 7 se exhibe la secuencia de un caso exitoso presentado en las instalaciones de Cenicafé Planalto, en Chinchiná (Caldas), donde en varias oportunidades se perdió la banca de la carretera que conduce a las instalaciones de Cenicafé. Inicialmente, se pensó en la necesidad de trazar y construir una nueva carretera, por un sector diferente, demasiado costosa. A nivel de la bioingeniería, luego de un inventario y diagnóstico integral y sistémico, se encontró que la causa del problema era



Figura 6. Sistema de manejo integral y sistémico de aguas superficiales y subsuperficiales, con trinchos vivos escalonados y filtros vivos en espina de pescado, respectivamente. Se observa la estabilización rápida del terreno en sólo seis meses (Octubre 3 de 2008). Vereda Balmoral, Filadelfia, Caldas.



Figura 7. Secuencia de proceso integral y sistémico de restauración de movimiento masal sobre la vía que conduce a Cenicafé Planalto (1999 – 2001).

la presencia de aguas subsuperficiales, para lo cual se diseñó como método de bioingeniería un sistema de drenajes en espina de pescado, con filtros vivos en guadua, complementados con la siembra de guaduilla y nacedero en el resto del área.

En la Figura 8, después de 10 años, se muestra el estado en el cual se encuentra el talud y la banca de la carretera, totalmente restaurados y cubiertos de vegetación multistrata que obra como refuerzo mecánico en la estabilización del terreno.

En la Figura 9, se da a conocer la secuencia de otro caso exitoso, donde se estabilizó la banca de la carretera que conduce a Cenicafé Planalto, mediante técnicas integrales de bioingeniería, consistentes en la construcción de un sistema de drenaje en espina de pescado con filtros vivos y trinchos vivos escalonados en guadua, para conformar el talud bajo de la carretera que se había perdido.

En la Figura 10, se indica el estado actual de la obra de bioingeniería luego de 15 años de construida, la cual se

Figura 8. Estado actual de proceso de restauración de movimiento masal sobre la vía que conduce a Cenicafé Planalto (1999 – 2011).



Figura 9. Secuencia de restauración de la banca de la carretera con obras de bioingeniería (filtros y trinchos vivos). Se observa inicialmente el área totalmente anegada. Cenicafé Planalto, 1996.



Figura 10. Área de Cenicafé Planalto, totalmente restaurada. Se observa el guadual establecido. Agosto de 1996 - Mayo de 2011.

encuentra convertida en un guadual, dando lugar a la estabilización definitiva del problema.

Por lo general, las obras de bioingeniería además de ser ambientalmente sostenibles y amigables con la naturaleza, eficientes y eficaces, tienen un costo aproximado 80% más bajo que el valor de una obra civil de concreto.

LITERATURA CITADA

1. ABE, K.; ZIEMER, R.R. Effect of tree roots on a shear zone: Modeling reinforced shear stress. *Canadian journal forest research* 21(7):1012-1019. 1991. Disponible en internet: <http://users.humboldt.edu/rziemer/pubs/Ziemer91e.PDF>. (Consultado en octubre de 2011).
2. ----- . Effects of tree roots on shallow - seated landslides. [En línea]. XIV IUFRO world congress : Proceedings, geomorphic hazards in managed forests (15 : August 5-11 1990 : Montreal). California : USDA, 1991. Disponible en internet. <http://users.humboldt.edu/rziemer/pubs/Ziemer91e.PDF> consultado en octubre del año 2011.
3. DOLFFUS, O. La cordillère des Andes: Présentation des problèmes géomorphologiques. *Reviste géographique physiologie et geologie*. 15(1/2):157-176. 1973.
4. FAO. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas: Diseño y construcción de caminos en cuencas hidrográficas frágiles. Roma. 1990. 234 p.
5. FEDERACAFÉ. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná : CENICAFÉ, 1975. 267 p.
6. FLOREZ, A. Geomorfología del área Manizales - Chinchiná, Cordillera central, Colombia. Amsterdam : Universidad van Amsterdam.
7. GALVEZ, C.E., SOTO, R., [et al.]. Pesquisa en el diario El Espectador sobre deslizamientos ocurridos en el territorio Colombiano en el período 1980/87. Manizales: Universidad Nacional, 1989. (Boletín de vías No. XVI (67):73-113. 41 p.
8. GRAY, D.H.; SOTIR, R.B. Biotechnical and soil bioengineering: Slope stabilization a practical guide for erosion control. New York : John Wiley and sons, 1996. 378 p.
9. IDEAM. Condiciones e indicadores ambientales en Colombia, proyecciones en el corto mediano y largo plazo: Informe mensual. [En línea]. Bogotá : IDEAM, 2001. Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/informe/index4.htm>. (Consultado el 20 de mayo de 2011).
10. -----; Servicio de seguimiento y pronóstico de la amenaza por deslizamientos. Bogotá : IDEAM, 2011. (Boletín No. 105). Disponible en internet: <http://www.pronosticosyalertas.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=pulicaciones&IFuncion=loadContenidoPulicacion&id=909>. (Consultado en abril de 2011).
11. OEA. Sistema nacional para la prevención y atención de desastres de Colombia. Taller sobre una agenda para

Disponible en internet: <http://www.fao.org/DOCREP/006/T0099S/T0099S00.HTM>. (Consultado en octubre de 2011).

reducción de vulnerabilidad a los peligros naturales: El desarrollo integral regional dentro de los países. Cartagena de Indias Colombia 21 – 24 de Marzo de 1994. 8 p. <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc5864/doc5864-contenido.pdf> (Consultado en octubre de 2011).

12. O'LOUGHLIN, C.; ZIEMER, R.R. The importance of root strength and deterioration rates upon edaphic stability in steepland forests. p. 70-78. En: Proceedings of I.U.F.R.O. workshop. Ecology of subalpine ecosystems a key to management. (August 2-3 1982: Oregon). Oregon : Oregon State University, 1982. 9 p. Disponible en internet: <http://users.humboldt.edu/rziemer/pubs/Ziemer82.PDF>. (Consultado en octubre de 2011).
13. SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE SUELOS. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. Principios del avenamiento o drenaje. México : Diana, 1979. 47p.
14. SUÁREZ, D.J. Deslizamientos y estabilización de laderas en zonas tropicales. Bucaramanga : Corporación para la defensa de la meseta de Bucaramanga, 1998. 548 p.

15. TRAGSA; TRAGSATEC. Restauración hidrológico - forestal de cuencas y control de la erosión. TRAGSA-TRAGSATEC-MUNDI-PRENSA Madrid, 1994. 902 p.
16. WALDRON, L.J. The shear resistance of root - permeated homogeneous and stratified soil. Soil science society of American journal. 4:843-849. 1977.
17. WATSON, A., PHILLIPS, C.; [et al.]. Root strength, growth, and rates of decay: Root reinforcement changes of two tree species and their contribution to slope stability. Plant and soil. 217:39-47. 1999.
18. WESTEN, C.J.VAN. Application of geographic information systems to deterministic landslide hazard zonation. In: Boletín de Vías, universidad nacional de Colombia, Sede Manizales : revista de Vías transportes Geotecnia, 21(1994)79 pp. 11-141.
19. ZIEMER, R.R. The role of vegetation in the stability of rooted slopes. p. 297-308. En: Proceedings of the international union of forestry research: World congress. (17 : September 6-17 1981 : Kyoto). Kyoto : USDA Forest Service Research, 1981.

