 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. AMBIENTE Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático</p>	<p><b>LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE ESTRUCTURAS CON TECNICAS DE BIOINGENIERÍA COMO ALTERNATIVA PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS.</b></p>	<p>Subdirección de Análisis de Riesgos y Efectos del Cambio Climático</p> <p>I.A, Esp Víctor Javier Barrantes Avellaneda</p>
--	--	--

## **LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE ESTRUCTURAS CON TECNICAS DE BIOINGENIERÍA COMO ALTERNATIVA PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS.**

### **INTRUCCIÓN**

Este documento se genera como una herramienta para la implementación de estructuras con técnicas de bioingeniería, en este se describen de forma general los métodos para el montaje de las diferentes estructuras utilizadas para la estabilización de taludes y para el control de la erosión, al igual que su función, de la misma forma se plasman las definiciones y conceptos relacionados con factores que intervienen en la ocurrencia de eventos naturales como movimientos masales.

### **CONTEXTO**

La actividad humana genera en el medio natural una serie de efectos a nivel ambiental, como la aparición de fenómenos de erosión e inestabilidad, la contaminación del agua, tierra y atmósfera, la alteración de la cubierta vegetal, el deterioro de la calidad del paisaje, la destrucción de los hábitats.


De acuerdo a lo anterior la conservación de los recursos naturales requiere la adopción de medidas de prevención, corrección o restauración tendientes, bien a prevenir los impactos negativos o bien a minimizar sus efectos sobre el medio natural. Por tanto, cualquier programa de prevención, restauración, rehabilitación o regeneración ambiental debe permitir la conservación, y/o reconstrucción del potencial biológico de las superficies afectadas de forma que sea viable su reutilización para otros usos o su integración en el marco paisajístico del que forma parte.

### **¿QUÉ ES LA BIOINGENIERÍA?**

La bioingeniería, es un campo de la ciencia, con enfoque integral, sistémico, multidisciplinario e interdisciplinario, fundamentada en procesos, los cuales son universales, y basados en la investigación científica por muchos años.

Los principios de la bioingeniería, parten de un buen inventario y diagnóstico, a la luz de las relaciones: Roca – Suelo - Grado y Longitud de la pendiente – Clima – Animal – Infraestructura – Hombre.

El inventario y diagnóstico, es imprescindible, ya que permite encontrar la Relación: Causa – Efecto de los procesos degradativos, y a partir de ellos, aportar a las soluciones de manera eficiente, eficaz y económica, teniendo como base la Ecuación Universal de Pérdida de suelo por erosión, que sirve para explicar los procesos de erosión hídrica, y la Ecuación de Resistencia al cortante tangencial de Coulomb (1773), cuyos parámetros de cohesión, fuerza normal, presión de poros y fricción interna, explican los procesos de Remoción en masa.

	<p><b>LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE ESTRUCTURAS CON TECNICAS DE BIOINGENIERÍA COMO ALTERNATIVA PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS.</b></p>	<p>Subdirección de Análisis de Riesgos y Efectos del Cambio Climático</p> <p>I.A, Esp Víctor Javier Barrantes Avellaneda</p>
---	--	--

Por tanto, la bioingeniería se orienta hacia la prevención y control de la erosión, protección y estabilización de taludes, y problemas de movimientos masales integrando los procesos físicos, químicos y biológicos de los fenómenos degradativos, hasta hallar a las causas de los mismos (Rivera H 2006).

La bioingeniería se puede considerar como una disciplina constructiva que persigue objetivos técnicos, ecológicos, estéticos y económicos utilizando sobre todo materiales vivos como semillas, plantas, partes de plantas y comunidades vegetales solo o en combinación con materiales inertes.

Las acciones principales de los principios de la bioingeniería, van encaminadas al manejo adecuado de las aguas de escorrentía y subsuperficiales tanto en las zonas rurales como urbanas, por lo que se deben construir obras para su manejo racional acordes con cada situación y lugar del problema.

El carácter singular de la bioingeniería se debe a que las partes de las plantas (raíces y tallos) sirven como elementos de la estructura principal en el sistema que protege las laderas. (Rivera H. 2006).

La construcción de obras de bioingeniería, busca drenar el exceso de agua, y canalizarla hacia los sectores más bajos y seguros del terreno evitando la saturación del suelo, y por consiguiente el aumento del peso y la lubricación del subsuelo con el riesgo subsecuente que se presente la remoción en masa.

La utilización de prácticas de Bioingeniería pretende atacar las causas de la problemática y restaurar ecológicamente la zona afectada.

Las obras cuentan con un componente vivo que son los rebrotes de las estacas de Sauco, Sauce y otras especies sembradas a lo largo de todas las implementaciones, este material debe ser sembrado y cuidado, permitiendo su crecimiento, pues son estas especies las que garantizan en el tiempo la sostenibilidad y estabilidad de la obra, una vez se inicie la descomposición natural de la guadua utilizada en la construcción de filtros, trinchos y terrazas, por lo tanto deben ser cuidadas y en caso de presentarse mortalidad o bajo nivel de rebrote, deberán ser reemplazadas, aquí se pueden incluir otras especies por interés de la comunidad que aporten a la estabilidad de las obras y de paso mejoren el componente paisajístico afectado por el evento ya ocurrido, tales como plantas ornamentales.

Se sugiere la utilización de filtros en Guadua, que drenen las zonas saturadas, trinchos que conduzcan las aguas superficiales y terrazas con coberturas densas, e inclinadas a favor de la pendiente, que permitan proteger de la erosión los taludes de zonas inestables.

### **¿DÓNDE SE HACE BIOINGENIERÍA?**

Las técnicas de bioingeniería se pueden aplicar en todas partes, ya que ella no se refiere a la simple siembra de árboles, ni de pastos, ni a la construcción de las obras, para contener una masa que se está desplazando sobre una ladera, sino que a ello se llega, sólo cuando se han logrado encontrar y controlar los agentes causales de los efectos degradativos, con base en los principios señalados.

## **FUNCIONES**

### Funciones Técnicas.

#### De tipo preventivo


- Protección de la superficie del suelo contra la erosión, provocadas por el viento, la lluvia y el agua de escorrentía
- Disminución de la velocidad del agua
- Agregación y estabilización superficial.
- Disminución de la saturación del terreno
- Barreras corta viento.

### Funciones Ecológicas

- Mejora el balance hídrico por un aumento de la interceptación de las lluvias, mejora en la capacidad de retención de agua del suelo, y el consumo de agua por las plantas.
- El desarrollo de asociaciones vegetales más estables pertenecientes a las series de vegetación de la zona.
- Disminución de la saturación del terreno.
- Protección contra el viento.
- Disminución de la compactación del suelo por efecto de las raíces de las plantas.
- Regulación de las condiciones de temperatura en el suelo.
- Aumento de la cantidad de nutrientes del suelo.

### Funciones Paisajísticas

- Restauración de los vestigios en el paisaje causados por episodios catastróficos o por las actividades humanas, minería, obras públicas, escombreras, entre otras.
- Integración de obras y construcciones en el paisaje.

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. AMBIENTE Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático</p>	<p style="text-align: center;"><b>LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE ESTRUCTURAS CON TECNICAS DE BIOINGENIERÍA COMO ALTERNATIVA PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS.</b></p>	<p style="text-align: center;">Subdirección de Análisis de Riesgos y Efectos del Cambio Climático</p> <p style="text-align: center;">I.A, Esp Víctor Javier Barrantes Avellaneda</p>
--	--	--

- Pantallas visuales para ocultar diferentes infraestructuras de fuerte impacto visual.
- Enriquecimiento del paisaje mediante la creación de focos visuales y nuevas estructuras formas y colores.

#### Funciones Económicas

- Ahorro de costos comparado con las técnicas convencionales.
- Ahorro de costos de mantenimiento y saneamiento

### **FACTORES A TENER EN CUENTA EN EL MOMENTO DE IMPLEMENTAR OBRAS DE BIOINGENIERÍA (Florez 2014).**

#### Interrelación de parámetros, tales como:

##### ROCA:

Permite analizar el conjunto y tipo de materiales parentales característicos de las diferentes áreas que hacen parte de los sitios estudiados y que inciden en los procesos degradativos de erosión y movimientos masales.

##### SUELO:


A través del conocimiento de sus propiedades Físicas, Químicas y Biológicas intrínsecas se permite conocer su susceptibilidad y resistencia a los procesos degradativos por erosión y movimientos masales en cada uno de los tres sitios de estudio.

##### GRADO Y LONGITUD DE LA PENDIENTE:

Su conocimiento permite formarse una idea clara de la topografía de la región, el movimiento del agua en suelo y los tiempos de concentración en la misma, lo que puede influir en la susceptibilidad del suelo a la erosión y a los movimientos masales, y a la orientación del uso, manejo y conservación.

##### CLIMA:

Permite determinar aspectos relacionados con la intensidad, duración, y frecuencia de las lluvias, calcular índices de erosividad o agresividad de las lluvias contra la erosión, períodos de retorno de las intensidades máximas de las lluvias, para calcular los caudales máximos y con ellos canales evacuadores de aguas de escorrentía entre otros.

	<p><b>LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE ESTRUCTURAS CON TECNICAS DE BIOINGENIERÍA COMO ALTERNATIVA PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS.</b></p>	<p>Subdirección de Análisis de Riesgos y Efectos del Cambio Climático</p> <p>I.A, Esp Víctor Javier Barrantes Avellaneda</p>
---	--	--

### VEGETACION:

Es importante hacer una descripción de la vegetación existente en la zona ya que esto nos permite obtener una idea clara de las especies que tendrán un mejor desarrollo, y que conjuguen con el entorno natural del sitio.

### ANIMAL:

Se analizan las especies típicas del área en estudio, que puedan estar influyendo en un momento dado en los procesos degradativos por erosión y o movimientos masales.

### INFRAESTRUCTURA:

Se relaciona con el análisis de las obras civiles de concreto y de bioingeniería existentes en la región, tales, como redes de acueducto, alcantarillado, viviendas, puentes, cajas colectoras de aguas de escorrentía, presencia de pozos sépticos, placas de concreto sobre las laderas, gavionería y vías entre otras y la efectividad de estas en la estabilización de cada uno de los sitios de estudio y sus áreas de influencia.

### FACTOR HUMANO:

Se refiere a la actividad antrópica que incide en la degradación de los recursos naturales, entre ellos las prácticas inadecuadas de uso, manejo y conservación de los suelos y aguas, en los sitios de estudio, además de aspectos organizacionales de la comunidad y su concepto e interacción con las obras construidas en la zona.


## **¿QUÉ ES LA REMOCIÓN EN MASA?**

Procesos de transporte de material definidos como procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores. Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad.

## **CLASIFICACIÓN**

La Clasificación de Varnes tiene en cuenta dos elementos: el tipo de movimiento y el tipo de material. En cuanto al tipo de movimiento considera 5 casos básicos: caída, volcamiento, deslizamiento, flujo y propagación lateral. En cuanto al material considera dos tipos: rocas y suelos, estos últimos subdivididos en detritos y tierras, según predominen materiales más gruesos, o más finos que el tamaño arena, respectivamente.

Se presenta a continuación una traducción de las definiciones de los procesos según Cruden y Varnes o descripción de los mismos, con algunos comentarios sobre la ocurrencia en Colombia de los diferentes tipos de movimientos, teniendo en cuenta la zonificación de Amenaza Relativa (Montero y Cortés, 1991).

	<p><b>LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE ESTRUCTURAS CON TECNICAS DE BIOINGENIERÍA COMO ALTERNATIVA PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS.</b></p>	<p>Subdirección de Análisis de Riesgos y Efectos del Cambio Climático</p> <p>I.A, Esp Víctor Javier Barrantes Avellaneda</p>
---	--	--

## CAIDA

Se trata del desprendimiento de materiales que se desplazan la mayor parte de su trayectoria por el aire. Se consideran 3 casos: Caída Libre, si la inclinación de taludes o laderas desde donde se desprende la masa, excede los 75°. Si este ángulo es menor, el material desprendido desciende en brincos y en el caso de taludes con inclinaciones menores a 45°, los materiales desalojados descienden predominantemente rodando.

Esta situación es frecuente en cortes viales donde en las excavaciones se exponen rocas metamórficas del Paleozoico. Por lo general los cortes dejan expuestas diaclasas de relajación por las cuales circula agua a presión lo cual facilita el proceso. Con menos frecuencia se presentan desprendimientos y rodamientos en excavaciones de rocas del Cretáceo, en condiciones topográficas similares a las descritas para las excavaciones en rocas del Paleozoico.

## VOLCAMIENTO

Se refiere al desplazamiento lateral de masas desde la cara de un talud natural o artificial, las cuales rotan alrededor de un punto o un eje, situado en el centro de gravedad de la masa desplazada. El movimiento puede deberse a la presión ejercida por el material situado encima de la masa afectada, o a la presión del agua o del hielo en las grietas. Ocurrido el volcamiento la masa puede caer o deslizarse dependiendo de su forma, de la geometría de la superficie de separación y de la orientación y extensión de las discontinuidades cinemáticamente activas. En este tipo de movimientos las masas se desplazan a velocidades muy diferentes.


En cuanto a los sitios afectados por estos procesos, son por lo general los mismos donde se presentan las caídas, salvo el Volcamiento de Detritos asociado generalmente a la socavación por corrientes o a la evolución de escarpes.

## DESLIZAMIENTO

Desplazamiento descendente, con una componente horizontal apreciable, a lo largo de una o varias superficies de falla o zonas de corte, que pueden coincidir con superficies preexistentes (planos estructurales o superficies antiguas de falla), o generarse durante el movimiento. Existen varios tipos de deslizamiento:

Deslizamiento Rotacional: la superficie de rotura es curvada y cóncava, y la relación Profundidad/Longitud  $D_r / L_r$  varía entre 0.15 y 0.33, según Skempton and Hutchinson (1969), citado en Cruden y Varnes (1996).

Deslizamiento Translacional, la superficie de falla es planar y la relación Profundidad / Longitud:  $D_r / L_r$  es menor de 0.1, según los mismos autores, citados en Cruden y Varnes (op. Cit).

	<p><b>LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE ESTRUCTURAS CON TECNICAS DE BIOINGENIERÍA COMO ALTERNATIVA PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS.</b></p>	<p><b>Subdirección de Análisis de Riesgos y Efectos del Cambio Climático</b></p> <p><b>I.A, Esp Víctor Javier Barrantes Avellaneda</b></p>
---	--	--

El Deslizamiento de Cuñas, constituye un caso especial de deslizamiento translacional, en el cual la masa que se desplaza, se apoya sobre la intersección de dos discontinuidades estructurales.

Deslizamiento Combinado, se presenta algo de translación y algo de rotación. La superficie de rotura presenta un escarpe principal muy pendiente, que puede suavizarse en profundidad y remata con una sección casi plana; la pata puede llegar a inclinarse en sentido contrario del movimiento y en la zona de corona pueden presentarse bloques desplazados en un mecanismo de Graben. La relación Profundidad/Longitud  $D_r / L_r$  para estos movimientos varía entre 0.10 y 0.15.

Los deslizamientos rotacionales y traslacionales ocurren en muchos ambientes geológicos en Colombia constituyen los tipos de movimientos más frecuentes. La roca densamente fracturada de las zonas de falla se involucra por lo general en enormes y profundos deslizamientos rotacionales, mientras que el mismo tipo de deslizamientos se da en coluviones y lutitas descompuestas o muy fisuradas de ambientes sedimentarios o en algunos depósitos volcánicos.

Los deslizamientos rotacionales y traslacionales poco profundos y comparativamente más pequeños, ocurren con alguna frecuencia en los saprolitos l y en las rocas blandas del Terciario.


Los deslizamientos de cuñas de rocas son también muy frecuentes y están casi siempre controlados por la estructura geológica.

## **FLUJOS EXTENSOS**

El término flujo en general se refiere a movimientos viscosos donde no se presentan superficies visibles de corte. Constituyen movimientos espacialmente continuos, en los cuales se presentan múltiples y efímeras superficies de corte, estrechamente espaciadas, las cuales por lo general no se preservan.

Se clasifican como desplazamientos en masa los flujos extensos (no canalizados) relacionados con el desplazamiento viscoso de suelos o detritos derivados de masas que previamente se han involucrado en un deslizamiento. También los movimientos viscosos que desplazan masas relativamente tabulares. Con menos frecuencia involucran masas relativamente secas.

En realidad se presenta una transición del estado de deslizamiento al de flujo con incremento en la humedad y desagregación de las partículas o partículas sueltas y secas que se desplazan hacia un terreno con más pendiente, lo suficiente para que éstas comiencen a rotar individualmente en ambos casos el movimiento se vuelve viscoso.

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. AMBIENTE Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático</p>	<p><b>LINEAMIENTOS PARA EL DESARROLLO DE ESTRUCTURAS CON TECNICAS DE BIOINGENIERÍA COMO ALTERNATIVA PARA LA MITIGACIÓN DE RIESGOS.</b></p>	<p>Subdirección de Análisis de Riesgos y Efectos del Cambio Climático</p> <p>I.A, Esp Víctor Javier Barrantes Avellaneda</p>
--	--	--

## **OTROS TIPOS DE MOVIMIENTO**

### REPTAMIENTO

Según Terzaghi (1950) este término se refiere a movimientos de laderas que ocurren a una tasa imperceptible. Por su parte Cruden y Varnes (1996) lo definen como un movimiento continuo con una tasa de desplazamiento inferior a un pie por década.

### REPTAMIENTO ESTACIONAL

Se refiere a un caso de Creep que afecta de manera intermitente la masa de suelo sometida a cambios estacionales de humedad y temperatura. La masa movilizada es delgada, afecta generalmente áreas extensas y lateralmente presentan una transición muy gradual a terreno estable. No poseen superficies de falla.

### REPTAMIENTO CONTINUO

Se trata de otro movimiento relativamente lento que experimenta desplazamiento de manera relativamente ininterrumpida; aunque tampoco poseen superficies de falla definida, la masa que se desliza se separa de la estacionaria a lo largo de una zona desgarrada por cortante.

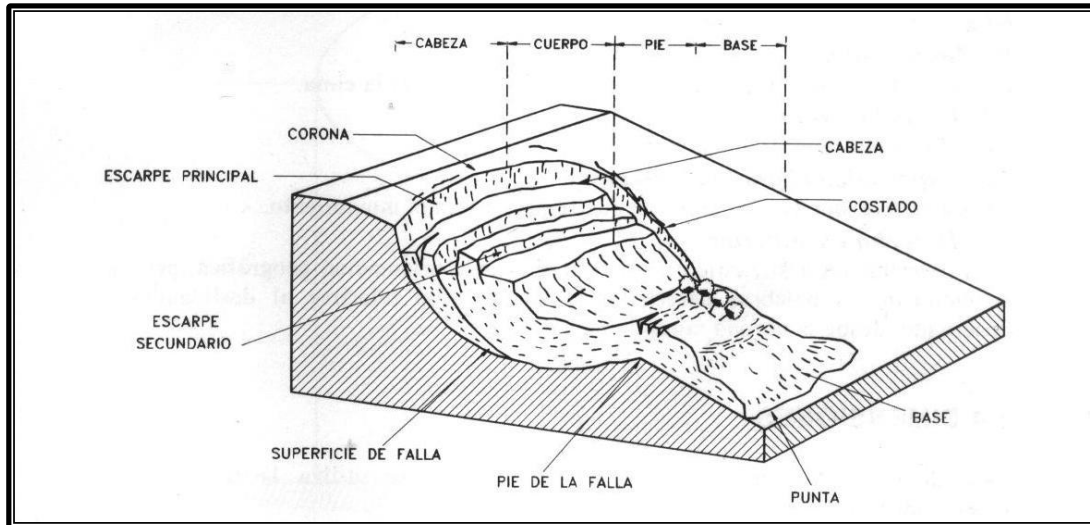
## **INVENTARIO Y DIAGNÓSTICO DEL DESLIZAMIENTO EN CAMPO**

Dentro del inventario y diagnóstico para la realización de obras de bioingeniería se deben tener en cuenta los parámetros anteriormente descritos, para así poder ajustar las obras al tipo de movimiento y ser congruente con la dinámica del mismo. Para esto es indispensable realizar una visita técnica al sitio afectado por la remoción y su área de influencia, e identificar:

1. Caracterización del deslizamiento.

Dentro del recorrido en la visita técnica al predio se deben identificar las partes que conforman el deslizamiento, escarpe o cabeza, corona, cuerpo, base, punta, pie de la falla, superficie de falla, escarpe secundario, esto con el fin de realizar una evaluación del estado actual y de los posibles factores que aportaron a la ocurrencia del evento.





## 2. Inventario y diagnóstico de los sitios.

Un buen inventario para determinar la relación causa – efecto del proceso degradativo, conduce de forma acertada a la planificación del uso, manejo y conservación de los suelos a diferentes niveles (Rivera y Sinisterra 2006 citados por Florez 2014).

Para ello es importante tener en cuenta los siguientes parámetros, ya descritos:

- Material Parental
- Textura del suelo
- Topografía
- Clima
- Vegetación Actual
- Animales presentes en la zona
- Infraestructura
- Hombre
- Uso del suelo

## 3. Diseño de las obras de bioingeniería.

En el Diseño de las obras se debe plasmar la ubicación de las mismas en terreno las cuales deben estar georeferenciadas, y con distancias para el posterior cálculo del material. El diseño es un esquema de ubicación de las obras que nos permitirá saber qué tipo de obra se requiere para los diferentes puntos de saturación de humedad detectados en la visita de reconocimiento (Figura No. 1).

Ejemplo:

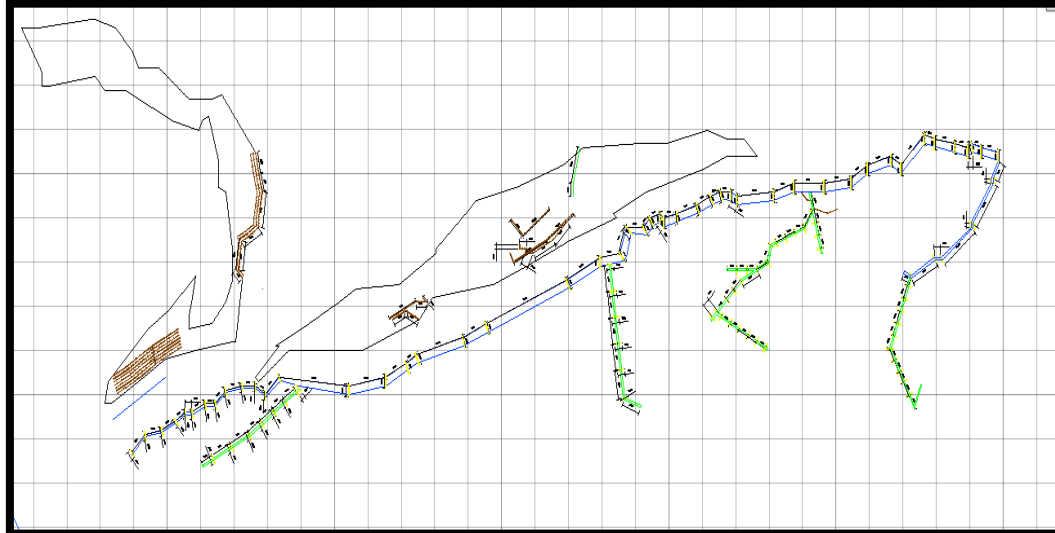


Figura No. 1. Esquema de obra

#### 4. Descripción de las implementaciones.

**Sistemas de drenaje:** en la localización de un sistema de drenaje se debe tener en cuenta las causas del problema (Federacafé 1975 citado por Florez G 2014).

Condiciones físicas del suelo: en suelos con baja capacidad de infiltración y texturas muy finas, con problemas de mal drenaje, se deben construir obras de drenaje o zanjas abiertas, siguiendo las partes más bajas del terreno, o las partes donde hay cambios en la topografía, es decir buscando las líneas de drenaje natural. Luego se construyen los laterales necesarios.

Escorrimento de aguas de predios superiores: Es necesario construir un drenaje de interceptación de manera de acequia de ladera o canal de desviación.

Inundaciones: constituyen un problema de distinto orden en cuanto al tratamiento especial para el desecamiento de los suelos.

Nacimientos de Aguas Subterráneas: Pueden aplicarse los mismos tratamientos enunciados en el primer caso.

**Zanjas de drenaje:** Se complementara en áreas donde el flujo de agua de escorrentía sea evidente para lo que se procederá a construir zanjas de drenaje de al menos 0,6 m de profundidad por 0,5 m de ancho. Para la estabilización de las zanjas y evitar su socavamiento de cauce, se hace conveniente

construir en su recorrido trinchos disipadores de energía de aguas de escorrentía confinando las aguas producidas a un área bien definida. (Foto 1).



Foto. 1 Trinchos disipadores.

**Sellamiento de Grietas:** Para evitar la infiltración de las aguas lluvias, se procederá a rellenar las grietas con arcilla o suelo presente alrededor de las mismas, luego de lo cual se compactará el suelo con un pisón de madera (Foto 2).



Foto 2. Se realiza el sellamiento de grietas presentes en el terreno para impedir la infiltración del agua, y saturación del terreno. El sellado se realiza con material del mismo sitio y compactando con pisón de madera, así se evitara la sobrecarga del terreno.

### **TRINCHOS VIVOS ESCALONADOS**

Estructuras biomecánicas establecidas en forma escalonada a través de la pendiente o dentro de los drenajes naturales y cauces de quebradas. Los trinchos vivos disipan la energía cinética del agua de escorrentía, controlan el arrastre de materiales, estabilizan el terreno y favorecen la recuperación de la vegetación. No son obras de contención. (Rivera, H 2.006). Estos también serán construidos en Guadua y tendrán adicionalmente 4 estacas vivas con capacidad de rebrote (Sauco), por metro de trincho construido.

Para el caso de construcción de sistemas de drenaje con filtros vivos, se recomienda construir un trincho cada 6 metros en el recorrido de los filtros vivos empotrado 12 cm abajo de la base de los filtros para evitar el desplazamiento de estos o el socavamiento de la base por el escurrimiento de las aguas subsuperficiales. (Rivera H. 2.011). (Figura No. 1, Foto 3 - 6).

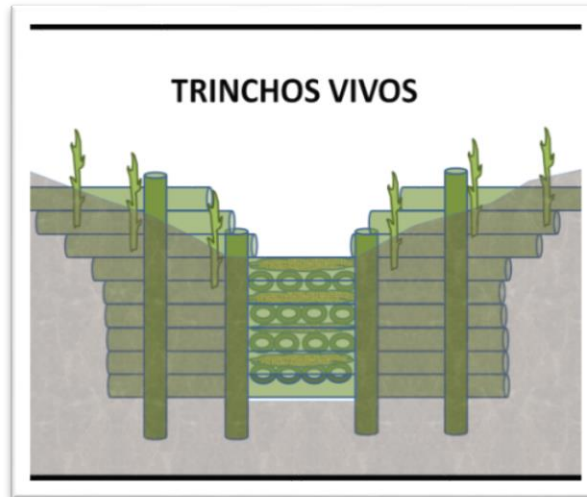


Foto 3. Construcción de canal perpendicular al filtro con una profundidad de 0.20 m por debajo del nivel del filtro, y una longitud de 2.50 m y un ancho de 0.50 m.



Foto 4. Se hacen cuatro hoyos con una profundidad de 0.70 m o más hasta encontrar terreno firme, y se distribuyen en los laterales sin que estos interfieran en el canal del filtro, estos deben quedar perfectamente alineados.

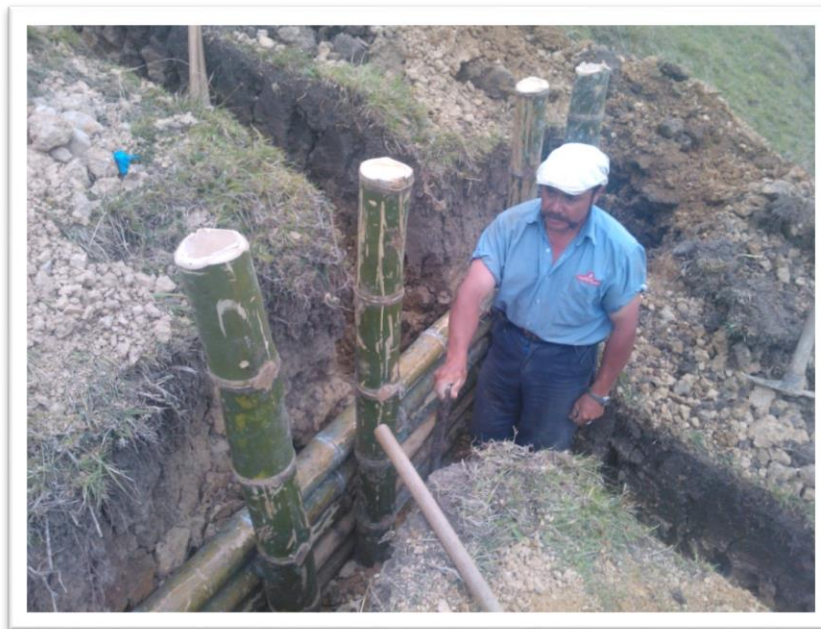


Foto 5. Se colocan cortinas de guaduas superpuestas hasta llegar a la altura del filtro, esta altura se promedia entre 0.50 m y 0.70 m, de acuerdo al volumen de agua que conducirá el filtro. Se rellenan los extremos con el mismo material de la excavación y se compacta de forma tal que el agua no infiltre con facilidad.



Foto 6. Una vez construido hasta la altura indicada se levanta un vertedero de aproximadamente 0.30 m de altura por la cual se maneja el agua de escorrentía que se generara después de las precipitaciones. Este vertedero se realiza en forma escalonada con recortes de 0.10 m.

## **FILTROS VIVOS**

Son zanjas interconectadas en el sentido de la pendiente, que se rellenan con camas superpuestas de Guadua, Los filtros vivos permiten la evacuación rápida de las aguas internas que saturan el terreno, conduciéndolas hasta lugares seguros, como drenajes naturales y cunetas. (Rivera, H 2.006). La zanja construida se debe profundizar hasta encontrar terreno totalmente firme o roca sin disturbar (Rivera, H 2.012), sin embargo se calcula una zanja promedio de 0.5 m de base y un promedio de 1,5 m de profundidad, y 16 piezas de Guadua. Se realizará la siembra de estacas de material vegetal con capacidad de rebrote (Sauco, y otros), a lo largo del filtro cada 25 cm. En áreas con menor concentración de agua se construirán filtros vivos tipo 2 con profundidad de 1 metro, estos se descargarán en los filtros principales. (Foto 7 – 10)

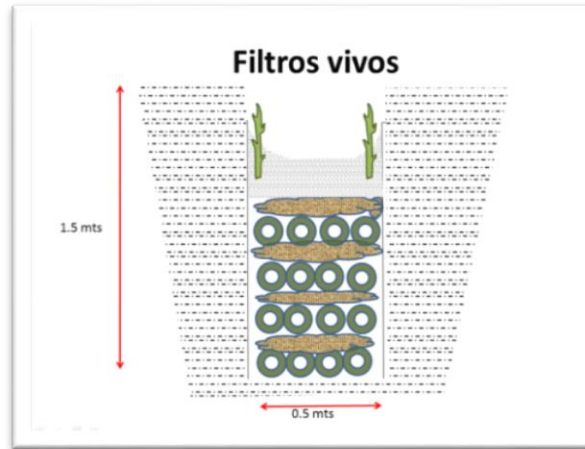


Foto 7. Construcción de canal paralelo a la pendiente siempre iniciando en un punto de saturación o donde convergen las pendientes, su profundidad depende de la distancia en la cual se encuentre suelo firme. Tiene un ancho de 0.50 a 0.80 m dependiendo de si es un canal principal o uno secundario. La longitud depende del punto de descarga el cual debe ser un lugar bien protegido (quebrada, río, alcantarillado etc.)





Foto 8. Una vez construido el canal con los trinchos vivos, se procede a montar el filtro como tal, se reviste preferiblemente con camas de pasto o con geotextil en ausencia de otro material natural, se colocan camas de guadua superpuesta una sobre otra cubriendo la base, y se eleva hasta la altura que se define en el trincho.



Foto 9. Una vez se tenga la altura especificada se recubre preferiblemente con pasto o con geotextil de no contar con otro material natural.



Foto 10. La zanja, se cubre con el mismo material de la excavación, se compacta bien hasta dejar una superficie plana con un leve grado de inclinación a fin de que el agua de escorrentía se conduzca de forma rápida hasta la parte baja y segura del terreno.

### **TERRAZAS VIVAS**

Estructuras de estabilización construidas en sentido de la pendiente formando balcones escalonados que luego son revestidos con cobertura vegetal. Brindan estabilidad en la base de terrenos deleznable, especialmente en taludes, derrumbes y negativos de carreteras. (Rivera, H 2.006). Serán construidas en Guadua y tendrán adicionalmente 4 estacas vivas con capacidad de rebrote (Sauco), por metro de terraza construida. Las terrazas deben tener una altura promedio entre 0,5 a 1 m, más un 40% de la obra que se encuentra empotrada en una zanja construida en el terreno.

La longitud de la terraza depende del relieve encontrado en el sector específico del terreno que se esté estabilizando, deben tener un poste colocado al menos cada 0,7 m, como soporte de una cortina de Guadua colocada horizontalmente, desde la base de la zanja construida para la consolidación de la terraza. La obra requiere movimiento de tierra para la consolidación de esta, para lo que se debe apisonar el material constantemente evitando la infiltración del agua en el terreno. Este sistema se construirá a una distancia entre terrazas de 0,7 metros, (se dispondrá de Guadua de 10 a 12 centímetros de diámetro, dispuestas horizontalmente y paralelas a la pared de la terraza). (Foto 11 - 15).

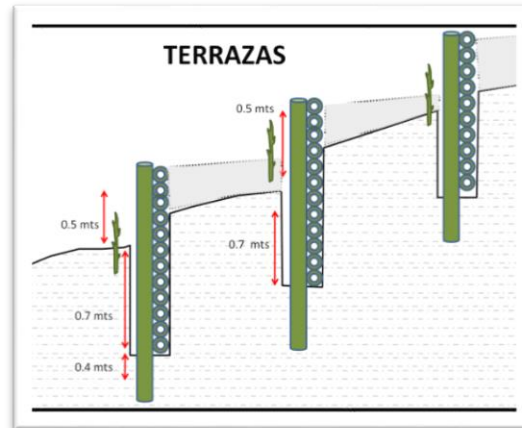


Foto 11. Zanja perpendicular a la pendiente del terreno con profundidad 0.70 m o hasta encontrar suelo firme, y ancho de 0.50 m que servirá como base de la terraza. Esta zanja debe estar empotrada a los costados del cuerpo del deslizamiento aproximadamente 0.80 m, esto con el fin de anclar la estructura.



Foto 12. Ahoyado profundidad 0.70 m de la base de la zanja, se colocan postes de guadua los más gruesos a una distancia de 0.20 m al inicio y final de la zanja y los restantes a una distancia de 0.70 m.



Foto 13. Armado de la primera cortina de guadua, con la colocación de guadas superpuestas formando un balcón o terraza con un altura promedio de 0.80 m, se rellena con el mismo material de la excavación y se compacta con pisón.



Foto 14. Construcción del segundo nivel o balcón de la terraza, distancia 0.70 m distancia que depende de la pendiente del terreno, se construye de la misma forma que el primer nivel y se continúa hasta llegar a la corona del deslizamiento.



Foto 15. Terraza terminadas y compactadas, estas deben tener un ligero grado de inclinación con el fin de permitir que el agua de escorrentía discorra con facilidad por sobre esta y evitar el encharcamiento, y están listas para siembra del material vegetal.

## REVEGETALIZACION

Con el objeto de generar una cobertura vegetal que estabilice las zonas descubiertas, ya sea por el evento ocurrido o por la construcción de las obras, se requiere la revegetalización de las áreas sin cobertura rastrera, con una especie de rápido crecimiento para lo que se trasplantará cespedones de Kikuyo, esta especie por su buen sistema radical, terminan por retener el material suelto y protege las obras y los taludes contra la erosión (Foto 16 - 17).



Foto 16. Siembra de material vegetal nativo, de preferencia material de la zona que ya se encuentre adaptado, se deben obtener varetas aptas para la propagación las cuales deben tener un diámetro superior a 1 cm y una longitud en la cual se garanticen cuatro yemas que permitirán el rebrote de la planta. Se debe realizar el ahoyado si es necesario aplicar suelo negro y abono orgánico a fin de garantizar la alimentación del material vegetal. Las plantas que no rebroten deben ser reemplazadas por estacas nuevas.



Foto 17. Siembra de material vegetal nativo, con características específicas, raíz pivotante, crecimiento rápido, fácil propagación y en lo posible que se encuentre en la zona.

## CONCLUSIONES

El control de la erosión y los movimientos masales, no necesariamente se deben enfocar a la construcción de estructuras de contención, sino, que primero se debe determinar la relación causa – efecto del proceso degradativo, el cual debe partir de un buen inventario y diagnóstico integral a la luz de las relaciones roca, suelo, grado y longitud de la pendiente, clima, vegetación, animal, infraestructura - hombre, lo que permite tomar las decisiones en las soluciones más acertadas (Rivera 2012).

En el control de la erosión y las remociones masales, se debe evitar al máximo la disturbación del terreno, conservando en el sitio toda la vegetación existente, ya que ella entra a ser parte de la solución del problema (Rivera 2012).

Los resultados de investigación han demostrado que la manera más eficiente, eficaz, y económica de prevenir y contrarrestar la erosión y los movimientos masales es a través del uso de la vegetación, tanto en la zona rural como urbana (Rivera 2012).