

Recuperación de Remociones Masales en suelos de Ladera tropical.

José Horacio Rivera Posada*
Juan Armando Sinisterra Reyes[⊗]

RESUMEN

Mediante convenio entre la Corporación Regional Autónoma del Valle del Cauca (C.V.C.), el Centro de Investigación para Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) y la ONG Ecoambientes de Argelia, se realizaron trabajos de restauración de suelos degradados en Argelia, municipio ubicado en el Norte del Valle del Cauca. Los trabajos partieron de un inventario y diagnóstico a la luz de las relaciones: roca – suelo – grado y longitud de la pendiente – clima – planta – animal – infraestructura- hombre, que permitieron determinar la relación causa – efecto de los procesos degradativos, e ir eliminando en forma prioritaria la mayor parte de las causas de la amenaza, disminuir la vulnerabilidad y el riesgo, y con ello incrementar el factor de seguridad de las laderas (resistencia de la ladera a una carga determinada) para reducir así la necesidad de las obras de control o el costo de las mismas. Esto condujo a dar soluciones sencillas, rápidas, eficientes, no perecederas y de costos muy bajos. El diagnóstico, arrojó como resultado, el uso de obras de Bioingeniería como una alternativa para controlar los problemas ambientales de erosión y movimientos masales que aquejaban en forma permanente tanto al casco urbano como a su zona rural y así mismo para que sirviera de vitrina demostrativa a todas las zonas de ladera del Departamento del Valle del Cauca y de transferencia tecnológica a otros Municipios del Valle del Cauca y del país, tales como: Dagua, La Cumbre, Restrepo, El Cairo, Buga y Obando entre otros en el Valle, Timbío en el Cauca y Cuenca del Río Sinú en Córdoba). Estas soluciones están enfocadas a la prevención y control de erosión, protección y estabilización de laderas, y problemas de movimientos masales mediante la construcción de estructuras totalmente vivas, usando diferentes partes de las plantas de la región, tales como: raíces y tallos principalmente. Este tipo de soluciones ha mostrado ser muy eficientes, persistentes en el tiempo, exitosas, de costos bajos, acordes con el medio y sin impacto ambiental negativo. Además estas tecnologías dan lugar a involucrar a la comunidad de cada región del país en la solución de sus propios problemas ambientales de erosión y remociones masales, mediante programas de socialización, sensibilización, concientización y capacitación, de tal forma que sean ellas mismas quienes hagan las obras, para que adquieran sentido de pertenencia, las valoren las cuiden y los dineros del Estado se queden invertidos en la misma comunidad. Esto Permite que en el futuro, sea la comunidad ya preparada y organizada, quien evite nuevos problemas de erosión y remociones masales y controle en forma inmediata los que se presenten nuevamente, con mínima o ninguna intervención del Estado. De

* Investigador Científico CIPAV Ing. Agrónomo, Doctor en Ingeniería, Área Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos con énfasis en Erosión Universidad Nacional de Colombia Facultad de Minas.

⊗ Investigador científico CIPAV.

está manera, se logra prevenir y reducir al máximo las tragedias humanas y de infraestructura, durante los eventos lluviosos catastróficos.

1. INTRODUCCION

De acuerdo con estadísticas de la Organización de los Estados Americanos (OEA, 1994) las remociones o movimientos masales, conocidos popularmente como derrumbes, se clasifican como uno de los cinco fenómenos naturales más destructivos y que más pérdidas económicas y número de muertes causan al año.

Son muchos los problemas de movimientos masales en todo el Departamento del Valle del Cauca y el país, siendo el Norte del Valle uno de los mas afectados debido al material parental de esquistos muy meteorizados, pendientes muy fuertes y de longitudes muy largas y lluvias de intensidad muy alta entre otros factores. Este proceso degradativo permite que los suelos a través del tiempo sean improductivos y en muchos casos el afloramiento del material parental, conduce a que se pierdan definitivamente para la agricultura, haciendo las regiones más pobres y obligando al campesino a emigrar hacia las zonas urbanas, aumentando allí los cinturones de miseria con los problemas sociales de vivienda, salubridad educación, desempleo y riesgo alto a los movimientos masales y sus consecuencias catastróficas de pérdidas de vidas humanas y un sin número damnificados en períodos invernales.

De acuerdo con estudios del IGAC (Florez, 1986), la construcción de vías por zonas de inestabilidad potencial, es otro factor que acelera la remoción en masa y las convierte frecuentemente en sitios de inestabilidad crónica, con reactivaciones en cada período lluvioso.

Por lo general este tipo de eventos crece a través de los años, debido al desconocimiento generalizado en cuanto a la causa y sus procesos degradativos y al desconocimiento en cuanto a la existencia de otras tecnologías más apropiadas para contrarrestarlos hasta lograr la recuperación definitiva del área afectada. Por lo general las soluciones tradicionales a este tipo de eventos, han sido puntuales y enfocadas únicamente a atacar el efecto más no la causa, mediante obras de la ingeniería convencional de muros en concreto o piedra, los cuales son demasiado costosos y de una vida útil muy corta, por la misma inestabilidad de las laderas Colombianas (Rivera, 1998, 1999b).

De ahí que en el presente trabajo, se efectúen soluciones bioingenieriles, las cuales manejan un concepto integral del fenómeno degradativo a la luz de las relaciones roca – suelo - topografía– clima – vegetación – animal – infraestructura – hombre. Esto permite llegar a un diagnóstico preciso en cuanto la relación causa – efecto del problema y a partir de allí ir eliminando en forma prioritaria la mayor parte de la vulnerabilidad y el riesgo, hasta conducir a soluciones rápidas, sencillas, eficientes, no perecederas y de costos muy bajos. Para la remediación se utilizan los recursos que se tienen en el sitio y las obras, son realizadas por la

misma comunidad, mediante programas de socialización, sensibilización, concientización y capacitación. Lo anterior permite crear en ellos sentido de pertenencia, para que las protejan y de esta forma prevengan la ocurrencia de nuevos eventos degradativos.

En Colombia, se presentan materiales paréntales diversos, que dan origen a suelos diferentes en constitución física –química-biológica, así mismo topografía, climas y vegetación, infraestructura y aspectos socioeconómicos variables. Todos estos factores influyen de una u otra forma en el tipo de proceso degradativo y conducen a que las soluciones no siempre sean las mismas, sino, que el éxito de ellas solo sea posible si se parte de un buen inventario y diagnóstico que permita tener en cuenta todos estos parámetros hasta determinar la relación causa – efecto del evento catastrófico.

2. Inventario y Diagnóstico de las remociones masales.

Un inventario y diagnóstico acertados, se logra solo, mediante una buena recopilación de la información existente en la zona, tales como estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, de suelos (reconocimiento, clasificación cartográfica y taxonómica, propiedades físicas, mecánicas, químicas y biológicas, uso, manejo y conservación actuales, potenciales y recomendables, etc.), topografía (grado y longitud de la pendiente), clima (datos históricos de intensidad duración y frecuencia de los aguaceros, altitud, temperatura humedad relativa, etc.), vegetación (inventario, caracterización), infraestructura (lomos, construcciones, vías, sistemas de drenajes, alcantarillados y acueductos, tanques de almacenamiento de aguas, pozos sépticos, sistemas de manejo de aguas lluvias, etc.), aspectos socioeconómicos (sensibilización, concientización, capacitación, economía de la zona, etc.). Estos estudios, se pueden encontrar, en las Universidades, Centros de investigación, Corporaciones Regionales Autónomas, ICA, CORPOICA, SENA, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, INGEOMINAS, entre otras. Con muy pocas excepciones, no es necesario hacer estudios de laboratorio, para cada caso específico de la misma zona, ya que con la información existente, se pueden hacer extrapolaciones para condiciones análogas. Por lo general, los estudios de laboratorio físicos y mecánicos de suelos, cambian muy poco en condiciones naturales en el tiempo y en el espacio en la misma zona, además son costosos y demorados. Por tanto, cuando se cuenta y se tiene conocimiento de dicha información, lo más importante además de acudir a ella, es el criterio y formación profesional, que permita hacer una buena interpretación de los datos y un buen diagnóstico de campo, el cual no es detectado con solo datos de laboratorio.

2.1. Indicadores de campo de inestabilidad de Laderas

En el campo existen varios indicadores visuales de inestabilidad de laderas, que para el experto, son extremadamente útiles en la identificación de áreas de movimiento masales potenciales, teniendo en cuenta los estudios descritos y existentes en la zona. Los indicadores, son de naturaleza geológica, pedológica,

topográfica, hidrológica, botánica y antropica (Tabla 1). Estos son utilizados para tomar medidas preventivas inmediatas, que deben ser las prioritarias para evitar la presencia de eventos catastróficos mayores. Dentro de los indicadores más comunes en las laderas Colombianas están: afloramientos de aguas en la ladera, saturación del suelo, niveles freáticos altos, los cuales se manifiestan por el color del suelo, olor a gas metano (gases de los pantanos), la presencia de tonos grisáceos y moteados dentro del perfil del suelo, agrietamientos del terreno, hundimientos, inclinación de los árboles, agrietamiento de infraestructura (muros, pisos y paredes de viviendas entre otras). También hay indicadores de la estabilización de las laderas a los movimientos masales y a los problemas de erosión, como son la aparición de musgos, algas líquenes y todo tipo de vegetación nativa y pionera de la zona.

Si se parte de un buen diagnóstico con base en la información cartográfica, de investigación, laboratorio y campo, se pueden tener las siguientes ventajas:

- Se previenen y reducen los eventos catastróficos al máximo.
- Se hace innecesario el establecimiento de obras de contención.
- El factor de seguridad (resistencia que ofrece una ladera u obra de contención a una carga determinada) de las obras se puede reducir, haciéndose menos costosas.
- Las soluciones pueden ser más rápidas.
- Se pueden utilizar en las soluciones los mismos recursos naturales de la zona, como es la vegetación nativa (obras bioingenieriles).
- Las obras las puede realizar la misma comunidad afectada.

De lo anterior se deduce, que de la relación Causa – Efecto debe salir: el porqué la necesidad de la obra, donde ubicarla, como construirla y con que materiales.

2.2. Errores que se cometen al no determinar la causa de la inestabilidad de las laderas:

Los siguientes errores en el manejo de remociones masales, pueden conducir a acelerar el proceso, más que a la solución del mismo, con consecuencias catastróficas:

- Disturbación desordenada del terreno.
- Socavamiento de la pata de la ladera por acción antropica
- Tala y arranque de los árboles, por creencias populares de que son pesados y altos, con lo que se reduce la estabilidad natural de la masa, por la pérdida del sistema radical como factor de refuerzo mecánico multistrata en los diferentes estratos del perfil del suelo.
- Construcción de muros pesados que generan sobre esfuerzos muy altos y contrarios a la estabilidad, sobre todo después de destruido el sistema radical profundo por el retiro de la vegetación herbácea, arbórea y arbustiva.

- Incremento del coeficiente de escorrentía e infiltración al modificar la cobertura superficial del terreno con el establecimiento de prados y pavimentos.
- Agrietamientos del terreno al secarse el subsuelo como consecuencia del retiro del bosque, que es factor de retención de humedad e infiltración.
- Desbalance hídrico por modificación del régimen de evapotranspiración ejercido por el bosque, lo que afecta la humedad natural del subsuelo. Las especies de capacidad evapotranspiradora alta, combaten la saturación del mismo.
- Aumento de la superficie específica del suelo y su capacidad de infiltración.
- Perfilado y denudación de la ladera para construir taludes, cambiando desfavorablemente sus condiciones de equilibrio natural .
- No abatir oportunamente los excesos de aguas externas e internas en el terreno.

2.2.1. Peso de los árboles

El peso de los árboles en las laderas, ha sido más una creencia, para talarlos y arrancarlos de raíz, que un sustento científico. Son muchos los errores que se

TABLA 1. Características indicadoras de deslizamientos o áreas con potencial alto a los deslizamientos (Gray y Leiser, 1982).

CARACTERISTICAS	IMPORTANCIA	CARACTERISTICAS	IMPORTANCIA
1. Disposición, topografía disectada	Característica común en deslizamientos viejos y actividad progresiva (deslizamientos con muchos componentes individuales). Masa deslizada es propensa a carcavamiento.	5. Formas lobuladas de la ladera.	Indicios de flujo de suelo anterior o solifluxiones.
2. Cambios abruptos en la ladera.	Puede indicar un área de deslizamiento viejo o un cambio en las características de la erosión del material subyacente. Porción con ángulo bajo en la ladera, es generalmente frágil y a menudo tiene el contenido de agua más alto.	6. Laderas encharcadas	Lugares de captación o depresiones formadas como resultado de fuentes de infiltración, los cuales pueden agravar o acelerar los deslizamientos.
3. Escarpes, Grietas	Indicador definido de un deslizamiento activo o recientemente activado. La edad del escarpe, puede ser usualmente estimada por la	7. Filtración de laderas	Común en masas de deslizamiento. Área con alto potencial a los deslizamientos. Puede usualmente ser identificado por presencia asociada de

	cantidad de vegetación establecida en él. La anchura de las grietas puede ser monitoreada para estimarla tasa relativa de movimiento.		vegetación freatofita densa, cerca de las filtraciones.
4. Topografía en terracetos	Indicador de fallas progresivas. Una serie de deslizamientos rotacionales superficiales, en los taludes, parecidos a gradas.	8. Vegetación no conveniente	Parches o áreas de vegetación demasiado joven o muy diferente, lo que puede indicar deslizamientos recientes o suelo inestable.
		9. Árboles inclinados	Árboles inclinados o volcados sobre una ladera, son indicadores de episodios previos de movimientos de laderas o deslizamiento de suelos.

cometen en el país y el mundo con este argumento. Los árboles no son pesados ni un problema para las laderas, sino un medio de estabilización de las mismas, con su refuerzo hidromecánico. Si se le pone un peso cualquiera a un árbol, por ejemplo 250 kg. que es técnicamente el promedio normal y se mide la copa del mismo o la longitud de las raíces laterales (técnicamente, el diámetro lateral de las raíces de un árbol, se asemeja a la proyección perpendicular de su copa). De ahí que todo el peso del árbol estaría distribuido sobre el diámetro de su sistema radical. Por tanto, lo que se debe medir es la presión que ejerce el árbol sobre el terreno, usando la ecuación $\text{Presión} = \text{Peso} / \text{Área}$. Al aplicar la ecuación y tomar como diámetro lateral de raíces la del Nogal cafetero (*Cordia alliodora*) que en promedio es de 12 m, bastaría con calcular el área de la circunferencia (πR^2), donde $\pi = 3,1416$ y $R = \text{radio} = 6 \text{ m}$, siendo el Área del sistema radical igual a $3,1416 \times 36 = 113 \text{ m}^2$. Ahora bien, $\text{Presión} = 250 \text{ Kg} / 113 \text{ m}^2 = 2,2 \text{ Kg/m}^2$. Lo que indica que el árbol, solo estaría ejerciendo al suelo una presión de 2 Kg por metro cuadrado y no los 250 kg como se cree. Al hacer la comparación con un muro de concreto de 1 m^3 cuyo peso aproximado es de 2.500 kg, su peso estaría distribuido en una área de 1 m^2 , siendo su presión sobre el terreno de 2.500 kg.

Cuando los árboles empiezan a mostrar inclinación en la ladera, puede ser buscando luz o por la influencia de un agente interno o externo que está influyendo en el movimiento de la masa de suelo en la ladera. De ahí que al encontrar las causas del movimiento, los árboles se convierten por lo general en parte de la solución y no en el problema, como se les ha considerado erróneamente.

De igual forma, cuando los árboles son muy altos, tampoco se justifica su tala y arranque de raíz, ya que lo técnicamente recomendable, son el manejo y las podas de los mismos.

Un árbol solo, no es capaz de estabilizar una ladera, sino la presencia de una población multistrata de ellos, que permita hacer un refuerzo mecánico desde la pata de la ladera hasta la corona de la misma, mediante el entrecruce de raíces.

3. Uso de la Bioingeniería en la estabilización y control de remociones masales.

La bioingeniería se refiere al control de erosión, protección y estabilización de laderas, y problemas de remociones masales mediante la construcción de estructuras totalmente vivas, usando diferentes partes de las plantas, tales como: raíces y tallos principalmente, cuyo éxito se logra partiendo de un inventario y diagnóstico acertados, que permita determinar la relación causa – efecto del problema.

Si no se encuentra y se ataca inicialmente la causa del problema, las obras tanto de ingeniería convencional como las de bioingeniería, no tendrían éxito alguno, ya que existiría el riesgo de desaparecer en el primer período invernal, con la masa que se pretenda estabilizar en la ladera.

La bioingeniería es considerada como algo único en el sentido que las mismas partes de las plantas (raíces y tallos) sirven como elementos mecánicos a la estructura principal en los sistemas de protección de Laderas. Estas estructuras, se convierten en refuerzo, drenaje hidráulico y barreras para contener erosión y remociones masales.

Los tratamientos bioingenieriles proveen estabilidad suficiente al suelo, ya que la vegetación nativa y circundante puede ganar posición en el terreno. La implementación exitosa de la bioingeniería requiere algún conocimiento de los factores que gobiernan la masa y estabilidad superficial de las laderas, tales como la hidráulica y efectos mecánicos de la vegetación.

Lo anterior es confirmado por varios autores quienes aseveran que un tiempo después de remover la vegetación en zonas montañosas, aumenta la frecuencia y la cantidad de deslizamientos y derrumbes (Waldron, 1977; Ziemer, 1981; O'Loughlin y Ziemer, 1982; Abe y Ziemer, 1991; Watson *et al*, 1999). Las raíces de las plantas aumentan la resistencia al cortante del suelo, en forma directa por reforzamiento mecánico e indirectamente por la extracción del agua del suelo por transpiración (Waldron, 1977). 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 (O'Loughlin y Ziemer, 1982).

3.1. Desarrollo histórico de la Bioingeniería.

Las plantas vivas y otros materiales naturales, han sido usados por siglos para controlar los problemas de erosión en suelos de ladera y a lo largo de las orillas de los ríos en diferentes partes del mundo. Estos materiales naturales y métodos de control de erosión, llegaron a ser menos populares con la llegada de la revolución industrial. La era de las maquinas y el desarrollo del concreto y la tecnología del acero, estimularon el uso de construcciones de materiales rígidos e inertes en proyectos de ingeniería. Estos materiales permitieron medidas geométricas exactas y prometieron inicialmente ser más durables, baratos y seguros (Gray y Sotir, 1995). En los Estados Unidos la tendencia hacia el abandono de la vegetación y las estructuras naturales para control de erosión y protección de laderas fue relativamente rápida y pronunciada. Esta tendencia fue estimulada por el costo bajo de la energía, el costo relativamente alto de la mano de obra y la distribución amplia y abundante de la materia prima necesaria en la fabricación del acero y del concreto (Franti, 1997).

El uso de los métodos bioingenieriles datan en China desde antes del siglo XII cuando fueron utilizados para estabilizar laderas. Al comienzo del siglo XX, técnicas similares fueron usadas en China para controlar inundaciones y erosión a lo largo del Río Amarillo (Franti, 1997)

El uso de la bioingeniería en los Estados Unidos, data de los años 1920 y 1930. Las aplicaciones más comunes fueron la estabilización de orillas de arroyos, caminos y carreteras y restauración de taludes.

Europa experimentó una tendencia similar. Sin embargo, unos pocos practicantes continuaron para usar y mejorar los métodos vivos en mezcla con los de construcción (soluciones biotecnológicas). En el año 1930 un número de profesionales en varias disciplinas técnicas fueron exitosos empleando los conceptos básicos de la bioingeniería del suelo. Estas técnicas incluyeron el uso de sauce (*Salix spp*) como una construcción elemental viva, establecimiento de muros de piedra combinados con recortes de madera y construcción de muros con incrustaciones de vegetación (Gray y Sotir, 1995). En los últimos 20 años, la bioingeniería ha sido reconocida como una técnica reemergente para el control de la erosión, estructuras estéticamente agradables y ambientalmente seguras (Franti, 1997).

La bioingeniería ha sido practicada ampliamente y en forma exitosa en Europa, especialmente en Alemania, donde los métodos bioingenieriles han sido usados por más de 150 años (Franti, 1997).

3.2. Ventajas de las soluciones bioingenieriles.

- Se organiza e involucra a la comunidad en las soluciones, mediante su sensibilización, concientización y capacitación, construcción de las obras por ellas mismas, creación del sentido de pertenencia, para que las protejan, les den mantenimiento y las rectifiquen si fuera necesario.

- Costos bajos y mantenimiento a largo plazo más bajo que los métodos tradicionales.
- Mantenimiento bajo de las plantas luego de establecidas.
- Beneficios ambientales para hábitat de vida silvestre, mejoramiento de la calidad del agua y estética.
- Aumento a través del tiempo de la fuerza de las raíces de las plantas, para incrementar la estabilidad estructural del terreno.
- Compatibilidad con sitios ambientalmente susceptibles a los movimientos masales o lugares con acceso limitado.

3.3. Uso de la Bioingeniería en el Control de áreas degradadas por Erosión Severa en Argelia Valle.

En Argelia Valle, se realizó el Inventario y Diagnóstico sobre los problemas de erosión severa en la Vereda Villa Rosa. El problema principal se encontró en las dos quebradas torrenciales de Villa Rosa, las cuales se encontraban cruzando por encima de la carretera que conduce a varias veredas del municipio de Argelia por ese sector, ocasionado la saturación e inundación permanente de un tramo de la banca de la carretera impidiendo el paso vehicular en las épocas de invierno.

El cauce de las dos quebradas presenta una pendiente superior al 70 % y un material parental de esquistos pizarrosos muy meteorizados y sueltos, los cuales eran fácilmente arrastrados por las aguas torrenciales de escorrentía en los períodos lluviosos, causando represamientos y avalanchas aguas abajo. Avalanchas que fueron capaces de destruir las obras de ingeniería convencional realizadas anteriormente para proteger la carretera, tales como muros en concreto y gaviones en piedra. La quebrada estaba muy desprotegida de vegetación en ambos márgenes y en la parte alta de la misma se encontraba un movimiento masal activo. Sus taludes laterales con pendientes mayores del 50 %, estaban muy blandos y saturados por agua a ambos márgenes, lo que facilitaba el desprendimiento permanente de los mismos, obstrucción del paso del agua en la quebrada y la formación de avalanchas en épocas lluviosas.

3.3.1. Restauración de las dos quebradas de la vereda Villa Rosa

Como estrategia, luego de la socialización del proyecto, sensibilización, concientización y capacitación se emprendió la acción en el campo, para lo cual se iniciaron los trabajos con la comunidad desde la parte más alta de la quebrada, mediante el establecimiento de varias obras bioingenieriles, tales como:

3.3.1.1. Disipadores simples de energía:

Los disipadores simples de energía consistieron en sembrar estacas vivas de nacedero (*Trichanthera gigantea*) en surcos acostadas a través de la pendiente del terreno, las cuales se reforzaron en cada uno de sus extremos con estacas vivas del mismo material de 0,70 m. de longitud y 3,5 centímetros de diámetro,

clavadas verticalmente. Los surcos se sembraron a una distancia de 1 x 1 metro (Rivera 2001; Rivera 2002a; Rivera 2002b).

3.3.1.2. Cubrimiento con maní forrajero (*Arachis pinto*).

Como complemento al tratamiento con disipadores simples de energía, se sembraron en surcos estolones de maní forrajero para proteger el terreno del impacto directo de las lluvias. El maní se sembró en surcos continuos a través de la pendiente del terreno, con distancia de siembra entre surcos de 50 cm (Rivera 2001).

3.3.1.3. Construcción de trinchos vivos escalonados en la estabilización de drenajes naturales.

Estructuras totalmente vivas construidas únicamente para disminuir la velocidad del agua de escorrentía y conducir a la estabilización del fondo de cauces y la base (pata) de los taludes laterales de los drenajes naturales.

Los trinchos vivos se construyeron en el cauce de la quebrada con guadua verde (*Guadua angustifolia*) (menor de dos años) a través de la pendiente sostenidos por estacas vivas de nacedero colocadas verticalmente, cada una de 1 m de longitud, clavadas a distancias de 1 m entre estacas para ayudar a sostener los trinchos en el futuro. El diámetro de la guadua es de 0,10 m. y se utilizó verde y menor de dos años, para la regeneración por rebrote (Rivera, 2002b).

Los trinchos se empezaron a construir de arriba hacia abajo, para ir disipando la energía del agua, con una distancia entre trinchos de 2 m. Estos se construyeron a una profundidad de 50 cm por debajo del cauce de la quebrada y con una altura efectiva de 20 a 30 cm. Luego de construidos, se sembraron estacas vivas de nacedero y Arboloco (*Montanoa quadrangularis*) con el fin de que se convirtieran con el tiempo en estructuras totalmente vivas. Estos trinchos llevan vertedero, para que el agua avance por el centro de la estructura y evitar así socavamiento de los taludes laterales de la quebrada. La función de estos trinchos es la de disipar las aguas de escorrentía y no como muros de contención. o de represamiento de sedimentos (Figuras 1a, 1b).



Figura 1a. Construcción de Trinchos vivos Escalonados en quebrada Villa Rosa, Argelia Valle. Noviembre 8 de 2002



Figura 1b. Trinchos escalonados, Quebrada Villa Rosa Argelia Valle. Noviembre 13 de 2002.

3.3.1.4. Establecimiento de filtros vivos.

Los filtros vivos, consistieron en la construcción de zanjas horizontales o en espina de pescado, en sentido de la pendiente del terreno de 0,5 a 1 m de profundidad.

Estas Zanjas se llenan con varios tendidos (3 a 4 tendidos) de guadua joven (menor de dos años de edad) para que rebroten fácilmente, o con tendidos de ramas vivas de quebrabarrigo, matarratón (*Gliricidia sepium*), leucaena (*Leucaena leucocephala*) y Arboloco, entre otras, colocadas a todo lo largo y en el sentido de la pendiente. La longitud de la guadua y las ramas vivas pueden ser de 1 a 3 m, dependiendo de la irregularidad del terreno.

Los filtros vivos se establecieron en los taludes blandos a lado y lado del cauce de las quebradas, para controlar la saturación del terreno por agua y mantener así una condición ideal de humedad que impidiera los movimientos masales y posteriores taponamientos del cauce de la quebrada y formación de represamientos y avalanchas (Figura 2).



Figura 2. Filtro vivo de guadua acompañado de trincho vivo para evacuar aguas subsuperficiales. Noviembre 8 de 2002

3.4. Recuperación del paso vial en la vereda Villa Rosa, Argelia Valle.

El problema crítico en este sitio consistió en la acumulación de aguas subsuperficiales provenientes de la montaña y aguas de escorrentía originarias de la parte alta de la carretera y las aguas de la quebrada que pasaban por encima de la banca de la misma. Esto hacía que el terreno permaneciera por más de 10 años totalmente saturado, impidiendo el paso vehicular en épocas lluviosas. Todo esto conducía a la destrucción de los taludes bajos de la carretera y a la formación de negativos o falsos de carretera. De ahí que las soluciones anteriores se hubieran centrado solo al efecto y no a la causa, con la construcción de muros en concreto y gaviones, los cuales eran destruidos fácilmente por las avalanchas de la quebrada en las épocas de invierno durante los primeros aguaceros. Todo lo

anterior condujo a enfocar erróneamente el problema a una falla geológica de no solución, por lo cual el problema persistía en el tiempo.

3.4.1. Manejo de las aguas en la carretera.

Para la solución se recomendó manejar adecuadamente las diferentes aguas de la siguiente manera:

3.4.1.1. Conducción de las aguas de la quebrada por debajo de la banca de la carretera:

Para ello se utilizó tubería de concreto mayor de 20 pulgadas de diámetro. La entrada y salida del agua por la tubería, se hizo mediante trinchos vivos escalonados para evitar socavamientos de fondo del cauce en ambos extremos de la tubería (Figura 3).



Figura 3. Empotramiento de tubería para conducir las aguas de la quebrada por debajo de la banca de la carretera. Se observan trinchos vivos escalonados a ambos extremos de la tubería. Febrero 19 de 2003.

3.4.1.2. Abrir ventanas de evacuación de aguas de escorrentía. Se recomendó abrir ventanas en las cunetas de la carretera hacia los taludes bajos de la misma. Estas ventanas se abrieron cada 10 a 15 m, para manejar así caudales de agua pequeños y evitar la acumulación de caudales muy grandes en un solo sitio que pudieran causar daños aguas abajo en los períodos invernales.

3.4.1.3. Manejo de coberturas densas en las cunetas: Se recomendó no desnudar las cunetas, sino hacer Manejo Integrado de Arvenses (Rivera, 1999b) para mantener una cobertura densa permanente en las mismas y evitar su socavamiento de fondo y arrastre permanente de sedimentos aguas abajo.

3.4.1.4. Construcción de filtros vivos en la banca de la carretera: Con el fin de drenar rápidamente la banca de la carretera, se construyeron filtros vivos en guadua que la atravesaron de un lado al otro (Figuras 4 y 5).



Figura 4. Construcción de filtros vivos atravesando banca de carretera para su drenaje. Noviembre 8 de 2002.

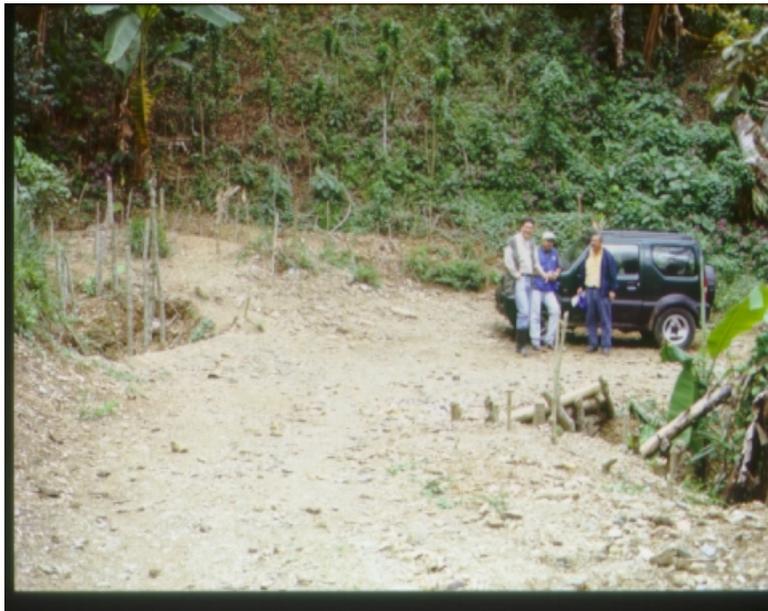


Figura 5. Estado actual de la carretera luego de los tratamientos bioingenieriles. Febrero 19 de 2003.

3.4.1.5. Restitución de la banca de la carretera mediante construcción de terrazas escalonadas en tierra:

Para reconstruir parte de la banca de la carretera a un lado de la segunda quebrada entrando a la vereda Villa Rosa, se procedió a hacer terrazas escalonadas en tierra (Rivera 1999a). Previo a la construcción de cada terraza se introdujeron filtros vivos en guadua, para evitar su saturación en los períodos lluviosos. Cada terraza fue reforzada con la siembra de estacas vivas de nacedero (Figura 6).



Figura 6. Proceso de recuperación de banca de carretera, mediante terrazas en tierra escalonadas. Vereda Villa Rosa, Argelia Valle. Septiembre 19 de 2003.

Todo este manejo integral de los problemas de erosión severa en la Vereda VillaRosa, se realizaron igualmente en la Vereda Maracaibo y en la zona Urbana de Argelia.

La recuperación de las áreas degradadas, se logró en un período de seis meses, lo que demuestra la eficiencia alta de las soluciones bioingenieriles.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Lo prioritario en la prevención y control de cualquier proceso degradativo (erosión o remociones masales), debe partir de un inventario y diagnóstico a la luz de las relaciones: roca – suelo – grado y longitud de la pendiente – clima – planta – animal – infraestructura- hombre, que permitan determinar la relación causa – efecto de los procesos degradativos, e ir eliminando en forma prioritaria la mayor parte de las causas de la amenaza, disminuir la vulnerabilidad y el riesgo, y con

ello incrementar el factor de seguridad de las laderas para reducir así la necesidad o el costo de las obras de control.

- Ninguna obra de contención funciona adecuadamente, si no se ataca la causa verdadera del problema oportunamente.
- Por lo general, los estudios de laboratorio físicos y mecánicos de suelos, cambian muy poco en condiciones naturales en el tiempo y en el espacio en la misma zona, además son costosos y demorados. Por tanto, cuando se cuenta y se tiene conocimiento de dicha información, lo más importante es acudir a ella y hacer extrapolaciones a zonas análogas.
- Un inventario y diagnóstico, debe ir acompañado de una interpretación acertada de los datos de laboratorio y un buen recorrido y análisis de campo.

5. BIBLIOGRAFIA

ABE, K. ; ZIEMER, R.R. 1991. Effect of tree roots on a shear zone: modeling reinforced shear stress. Canadian Journal Forest Research 21 (7): 1012–1019.
On line Internet: <http://www.rsl.psw.fs.fed.us>

FLOREZ, A. 1986. Geomorfología del área Manizales – Chinchiná, Cordillera Central, Colombia. Amsterdam, Universidad Van Amsterdam. 159 p. (Tesis Ph.)

FRANTI T. G. 1997. Bioengineering for Hillslope, Streambank and Lakeshore Erosion Control. On line Internet Franti, 1997

GRAY D.H.; LEISER A.T. 1982. Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. Van Nostrand Reinold Company. New York. 271p.

GRAY, D. H.; SOTIR, R.B. 1995. Biotechnical and soil bioengineering: Slope Stabilization, A practical guide for erosion control. John Wiley and Sons. 378 p.

OEA. 1994. Taller sobre una agenda para reducción de vulnerabilidad a los peligros naturales: El desarrollo integral regional dentro de los países. Boletín de Vías Universidad Nacional (Manizales) XXII (82): 131 – 189.

O'LOUGHLIN, C.; ZIEMER, R.R. 1982. The importance of root strength and deterioration rates upon edaphic stability in steepland forests. Proceedings of I.U.F.R.O. Workshop P.1.07-00 Ecology of Subalpine Ecosystems a Key to Management. 2-3 August 1982, Corvallis, Oregon. Oregon State University. P. 70-78.

RIVERA, P. J. H. 1998. Control de cárcavas remontantes en zonas de ladera mediante tratamientos biológicos. Avances Técnicos Cenicafé. No. 256. Colombia. 8p.

RIVERA, P. J. H. 1999a. Control de derrumbes y negativos en carreteras, mediante tratamientos de tipo biológico. Avances Técnicos Cenicafé. No. 264. Colombia. 8p.

RIVERA P., H. 1999b. El Manejo Integrado de Arvenses en Cafetales Aumenta los Ingresos y Evita la Erosión. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 1999. 4 p. (Avances Técnicos CENICAFE N° 259).

RIVERA P., J.H. 2001. Manejo y Estabilización de Taludes en Zonas de Ladera mediante Tratamientos Bioingenieriles. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2001. 9 p. (Avances Técnicos CENICAFE en Imprenta).

RIVERA P., H. 2002a. Construcción de trinchos vivos para conducción de aguas de escorrentía en zonas tropicales de ladera. Chinchiná (Colombia) Cenicafé (Avances Técnicos CENICAFÉ, en Imprenta) 2001, 9p.

RIVERA P., H. 2002b. Utilización del Nacedero *Trichanthera gigantea* (H. & B.) Nees para la prevención y recuperación de áreas degradadas por erosión y remociones masales en suelos de ladera Colombiana. In: Ospina S.; Murgueitio R., E.(eds.) Tres especies vegetales promisorias: Nacedero *Trichanthera gigantea* (H. & B.) Nees; Botón de oro *Tithonia diversifolia* (Hemsl) Gray; Bore *Alocasia macrorrhiza* (Linneo) Schott. CIPAV; Convenio Andrés Bello – CAB; Colciencias. pp 129 – 144. Cali Colombia. 2002.

WALDRON, L. J. 1977. The shear resistance of root – permeated homogeneous and stratified soil. Soil Science Society of American Journal. 4: 843 – 849.

WATSON, A., PHILLIPS, C.; MARDEN, M. 1999. 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

ZIEMER, R.R. 1981. The role of vegetation in the stability of rooted slopes. In: Proceedings of the International Union of Forestry Research, XVII World Congress, 6 – 17 September 1981, Kyoto, Japan. Vol. I: 297 – 308.