

Restauración Social de Suelos Degradados por Erosión y Remociones Masales en Laderas Andinas del Valle del Cauca Colombia con la utilización de obras de Bioingeniería.

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

RESUMEN

La Fundación Centro de Investigación para Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), en Convenio con la Corporación Regional Autónoma del Valle del Cauca (C.V.C.) y la colaboración de las ONG's de cada región intervenida, viene investigando y aplicando tecnologías acordes con el medio, que permitan mediante un trabajo comunitario a través de la Socialización, Sensibilización, Concientización y Capacitación, restaurar suelos degradados severamente, con la participación de las comunidades afectadas.

Los trabajos se vienen realizando en diferentes municipios del departamento del Valle del Cauca, tales como: Argelia, Dagua, La Cumbre, Restrepo, Cuenca Alta del río Cali, Obando, Buga y El Cairo entre otros, para los cuales, se partió de un inventario y diagnóstico a la luz de las relaciones: material parental (roca) – suelo – grado y longitud de la pendiente – clima – planta – animal – infraestructura-hombre, lo que permitió determinar la relación causa – efecto de los diferentes procesos degradativos, e ir eliminando en forma prioritaria la mayor parte de las causas de las amenazas y vulnerabilidad, lo que permitió así aumentar en forma paulatina el factor de seguridad de las laderas y reducir el riesgo, lo que condujo a soluciones sencillas, rápidas, eficientes, no percederas y de costos muy bajos.

En el presente escrito, se presentan únicamente las secuencias de los trabajos realizados en los municipios de Argelia, Dagua, La Cumbre y Restrepo, en el Departamento del Valle del Cauca.

Se utilizó para las soluciones, la bioingeniería, tecnología que consiste en diseñar y construir estructuras totalmente vivas, erigidas con partes vivas de las plantas, especialmente ramas, fustes, culmos raíces y rizomas de las mismas. Esta tecnología se usó como una alternativa para manejar apropiadamente las causas de los procesos ambientales degradativos por erosión y movimientos masales que aquejan en forma permanente tanto al casco urbano de los municipios trabajados, como su zona rural y así mismo se convirtieron en vitrinas demostrativas a todas las regiones de ladera del Departamento del Valle del Cauca y el País en general.

* I.A. Doctor en Ingeniería, Área Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos con énfasis en Erosión. Investigador Científico del Centro de Investigación de Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria CIPAV.

[⊗] Investigador Científico CIPAV.

Este tipo de soluciones mostraron ser muy eficientes, persistentes en el tiempo, exitosas, de costos bajos, acordes con el medio y sin impacto ambiental negativo. Además estas tecnologías permitieron involucrar a la comunidad de cada región del Departamento en la solución de sus problemas ambientales de erosión y movimientos masales, mediante programas desarrollados por el CIPAV, permitiendo que fuera la misma comunidad empoderada, quien hiciera las obras, adquiriendo sentido de pertenencia hacia ellas, valorándolas, cuidándolas, y haciendo que los dineros del Estado se queden invertidos en forma eficiente en la gente de la región. Esto Permitió dejar una comunidad preparada para que en el futuro, eviten nuevos problemas y controlen en forma inmediata los que se presenten, con mínima o ninguna intervención del Estado.

Palabras Claves: Suelos, Bioingeniería, Erosión de suelos, Control de Erosión suelos, Movimiento masal, control Movimientos Masales, Factor de Seguridad.

1. INTRODUCCIÓN

Los objetivos de la ordenación del uso, manejo y conservación del suelo son: determinar la aptitud de las tierras para usufructuarlas en forma adecuada; establecer sistemas de producción acordes con las facilidades técnicas y económicas del agricultor; minimizar o prevenir los daños causados por los factores de erosión mediante prácticas de conservación de suelos; mantener o incrementar la productividad de los suelos mediante la aplicación de medidas técnicas apropiadas, oportunas y de costo bajo que hayan demostrado eficiencia alta en condiciones ecológicas análogas.

La conservación de los suelos debe ser un programa integral a largo plazo prioritariamente preventivo, buscando que cada día se logren cubrir más áreas con prácticas de conservación de suelos combinadas con sistemas buenos de manejo de cultivos adaptados a las condiciones ecológicas y del agricultor.

Por lo general, las diferentes comunidades en el país, tienen ciertas creencias, tradiciones y costumbres muy arraigadas, que los conduce a aplicar prácticas de cultivo en forma indiscriminada, sin importar la topografía del terreno, la resistencia o susceptibilidad de los suelos a la erosión, ni si estos son húmedos o secos.

A pesar de que el agricultor, o la comunidad en general, se dan cuenta de los descensos de la producción debidos en gran parte a la erosión y deterioro de sus fincas, desconocen las causas del problema y sus consecuencias graves

La mayoría de las veces, el ausentismo y el poco interés de los propietarios, el desconocimiento sobre la vocación de uso de los suelos, y la falta de conciencia de que el suelo es un patrimonio social, limita la adopción de tecnologías conservacionistas (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1975) (Federacafé).

Todo lo anterior conduce a un aumento acelerado de la erosión en el país y a la presencia de cárcavas de tipo remontante, y movimientos masales (derrumbes y deslizamientos, entre otros).

De acuerdo con estadísticas de la Organización de los Estados Americanos (OEA, 1994), 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.

Son muchos los problemas de movimientos masales en todo el Departamento del Valle del Cauca, siendo el Norte uno de los más afectados debido al material parental de esquistos muy meteorizados, pendientes fuertes (mayores del 75%) y de longitudes muy largas (mayores de 600 m) y lluvias de intensidad muy alta (mayores de 75 mm/h). Estos procesos degradativos permiten 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, viéndose obligados a ubicarse a orillas de ríos y quebradas torrenciales, especialmente en áreas de inundación, en las zonas urbanas de riesgo más alto a los movimientos masales y de allí las consecuencias catastróficas de pérdidas de vidas humanas y un sin número de damnificados en los periodos invernales de cada año.

De acuerdo con estudios del IGAC (Florez, 1986), otra de las causas que conduce a los movimientos masales, es la construcción de obras de infraestructura, especialmente de vías por zonas de inestabilidad potencial, lo cual acelera los procesos degradativos y convierte los sitios en inestabilidad crónica, con reactivaciones en cada período lluvioso.

Por lo general este tipo de eventos crece a través de los años, debido a diagnósticos incompletos o mal realizados y en otros casos, al desconocimiento generalizado en cuanto a las causas de los procesos degradativos y de la existencia de tecnologías apropiadas para contrarrestarlos oportunamente hasta lograr la recuperación definitiva del área afectada.

En el presente trabajo, se muestran soluciones biológicas y bioingenieriles, donde se maneja un concepto integral del fenómeno degradativo a la luz de las relaciones roca – suelo – topografía (grado y longitud de la pendiente) – clima – vegetación – animal - infraestructura – hombre. Esto permite llegar a un diagnóstico preciso en cuanto a la relación causa – efecto del problema, lo que permite a partir de allí ir eliminando en forma prioritaria la mayor parte de las causales del proceso degradativo, que permita ir disminuyendo el riesgo y aumentando el factor de seguridad de la ladera, 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, si son necesarias, se realizan con 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. Por tanto si en un momento dado, no se atacan las causas de la amenaza, el factor de seguridad se hace demasiado pequeño (menor de 1), el riesgo se incrementa y el tipo de obras de control tendrían que ser de gran magnitud y costos muy altos, a veces inalcanzables e irrealizables tanto por la comunidad como por los mismos organismos del Estado.

En Colombia, se presentan materiales paréntales diversos, que dan origen a suelos diferentes en constitución física –química – mineralógica -biológica, así mismo topografía, climas y vegetación, infraestructura y aspectos socioeconómicos variables. Todos estos factores conducen a que las soluciones no siempre sean las mismas, sino, que el éxito de cualquier tipo de estructura solo sea posible si se parte de un buen diagnóstico que permita tener en cuenta en forma integral todos estos aspectos hasta determinar la relación causa – efecto de los procesos degradativos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Efecto de la Vegetación herbácea arbórea y arbustiva en la estabilización de los suelos a la Erosión y los movimientos masales.

El cubrimiento del suelo con la vegetación herbácea (arvenses), ha demostrado, ser la práctica más eficiente en la prevención de la erosión en las zonas de ladera en el mundo (Federacafé (1982). Así mismo, La vegetación arbórea y arbustiva permite que se presenten sistemas radicales de anclaje mayor en lo profundo y hacia los lados en el perfil del suelo, aumentando la resistencia de éste a la ruptura, fracturación o fallamiento y con ello la mayor estabilidad del terreno a los movimientos masales. Esto ha sido corroborado por trabajos reportados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), realizados por Florez (1986) 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. Se comprobó que después de dos a seis años de transformado el sistema agroforestal, con eliminación de las especies forestales, se presentaron en épocas lluviosas ocho derrumbes por km², 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, ya que al cortarlos se inicia un proceso de pudrición de las raíces. Lo anterior es confirmado por varios autores quienes aseguran 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 a la ruptura del suelo, en forma directa por reforzamiento mecánico e indirectamente por la extracción del agua del

suelo por transpiración (Waldron, 1977), haciendo que el suelo permanezca en condición de campo, es decir con un contenido de humedad del mismo (ni muy seco ni muy húmedo) que permita el desarrollo normal de las plantas. El refuerzo mecánico se manifiesta en un aumento considerable en su componente cohesiva, debido al peso de la vegetación y a la interacción entre el suelo y las raíces (O'Loughlin y Ziemer, 1982). 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, debido a que se aumentan las presiones intersticiales que disminuyen la resistencia a la ruptura del suelo en un 60% (Swanston, 1969; citado por Ziemer, 1981).

El efecto protector de la vegetación maderable en la estabilidad de los suelos a los movimientos masales, ha sido un tema muy debatido y estudiado en los últimos años y ha ganado un reconocimiento considerable, especialmente en el reforzamiento dado por las raíces de los árboles a la resistencia a la ruptura del suelo (Abe y Ziemer, 1991; Coppin y Richards, 1990; citados por Gray y Sotir, 1996; Suárez, 1998; O'Loughlin y Ziemer, 1982). La mayoría de estudios relacionados con el tema, se han desarrollado en Austria, Canadá, Estados Unidos, Nueva Zelanda, Japón, Nepal y Alemania (Coker y Flores, 2000) y Ahora último por Rivera (1999c) en la Zona Cafetera Colombiana.

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 (Rice, 1977 citado por Florez, 1986), tanto por el anclaje vertical como por el horizontal (Gray, 1971, Dyrnes, 1967, citados por Florez, 1986).

En un trabajo realizado por Rivera, 1999c, en la Zona Cafetera Central Colombiana, con cinco unidades de suelos contrastantes, se encontró que las unidades Chinchiná y Montenegro (Melanudands) presentaron resistencia al cortante tangencial promedio de (112,37 kPa y 106,94 kPa, respectivamente), con diferencias altamente significativas en relación con las unidades Fresno (Melanudands) (84,97 kPa), Guamal (69,65 kPa) y Parnaso (43,83 kPa) Typic eutropepts, las cuales presentan diferencias altamente significativas entre sí y con todas las unidades de suelos estudiadas. Los valores mas altos están en la unidad Chinchiná (112,37 kPa) y los más bajos en Parnaso (43,83). Esta es una de las razones por las cuales en suelos de la unidad Parnaso y Guamal, se presentan problemas graves de remociones masales a gran escala, en los períodos muy lluviosos, especialmente cuando el uso del suelo es monocultivo con sistemas radicales superficiales (0-30cm de profundidad), fenómeno que no ocurre o solo se presenta a escala pequeña y muy esporádicamente, cuando los sistemas de uso del suelo son Agroforestales, Agropastoriles, Silvopastoriles o Agrosilvopastoriles. Esto explica la importancia de no hacer generalizaciones para el uso y manejo de los suelos de la Zona Cafetera Colombiana, ya que cada uno de ellos presentan resistencias mayores o menores al cortante tangencial, lo cual

orienta en la necesidad de establecer sistemas Agroforestales, Silvopastoriles, Bosques Productores Protectores y Bosques de protección, donde cada situación lo amerite.

Estos resultados dieron lugar a investigar la influencia del sistema radical de algunas especies arbóreas y arbustivas de la Zona Cafetera Colombiana sobre la resistencia directa en el campo al cortante tangencial (Barrera et al., 2002; Barrera y Rivera, 2003) (Tablas 1 y 2)

Tabla 1: Características del sistema radical de algunas especies vegetales de la zona cafetera colombiana (Barrera¹ y Rivera², 2002).

Especie	Longitud Promedio raíces laterales (m)	Profundidad promedio sistema radical (m)	Relación suelo/raíces (%)
<i>Cordia alliodora</i>	11,7	2,8	0,01
<i>Inga codonantha</i>	5,5	2,2	0,10
<i>Trichanthera gigantea</i>	5,0	1,6	0,11
<i>Coffea arabica</i>	1,2	0,60	0,036

En la Tabla 1, se observa que la mayor longitud promedio de raíces laterales y profundidad promedio de las mismas, se presenta en el Nogal Cafetero (*Cordia alliodora*), con 11,7 y 2,8 m respectivamente, seguido por *Inga codonantha* 5,5 m y 2,2 m respectivamente, y en último lugar se presenta el café (*Coffea arabica*), con 1,2 m y 0,60 m, respectivamente. Es de anotar, que los árboles estudiados, presentaban una profundidad mayor a la reportada, en el sentido que el objetivo del trabajo, era excavar hasta dos metros de profundidad únicamente.

En la Tabla 2, se presenta la resistencia del suelo al cortante tangencial, influenciada por las raíces de cada una de las especies forestales estudiadas.

Se nota, que la resistencia mayor esta dada por *Cordia alliodora*, con valores de 55,65, 64,97 y 76 Kpa a las profundidades en el perfil del suelo de 0 – 20, 20 – 80, y 80 a 120 cm, respectivamente, seguida por el Nacedero (*Trichanthera gigantea*) con valores de 52,63, 70,52 y 57,53 Kpa, respectivamente, para cada una de las tres profundidades estudiadas. La menor resistencia al cortante tangencial, la ofrece el Café, con valores de 36,36, 44,21 y 55,50 Kpa, para cada una de las profundidades estudiadas, valores muy similares a los presentados por el testigo no influenciado por raíces de especies forestales. Esto explica la importancia del sistema radical de las plantas en el aumento de la resistencia al cortante tangencial de los suelos y así mismo a los movimientos masales. De ahí, el

¹ Jorge Barrera Gutiérrez, trabajo de Tesis de pregrado de Ingeniería Forestal de la Universidad Distrital de Bogotá.

² José Horacio Rivera Posada, Ingeniero Agrónomo, Doctor en Ingeniería, Area Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos con énfasis en Erosión., Investigador Científico CIPAV

porqué no se debe generalizar la práctica de monocultivos de café, pastos, plátano y cultivos transitorios, entre otros, en todo tipo de suelos, sino que se hace necesario conocer primero las características de estabilidad y resistencia a la erosión y movimientos masales de cada unidad de suelos, antes de generalizar una practica.

Tabla 2. Resistencia al cortante tangencial promedio (kPa) de algunas especies vegetales de la zona cafetera colombiana (Barrera¹ y Rivera², 2002).

Especie	Profundidad (cm)		
	0-20	20-80	80-120
	KPa		
<i>Cordia alliodora</i>	55,65	64,97	76,00
<i>Inga codonantha</i>	40,28	60,31	76,33
<i>Trichanthera gigantea</i>	52,63	70,52	57,53
<i>Coffea arabica</i>	36,36	44,21	55,50
Testigo	34,16	43,39	53,61

Lo anterior indica que para estabilizar un terreno susceptible a los movimientos masales, es necesario contar con una población multistrata de especies, con sistemas radicales contrastantes, para dar así estabilidad a diferentes profundidades dentro del perfil del suelo.

De acuerdo con López (1988), en la construcción de obras transversales, tanto de consolidación como de retención de materiales en cauces de ríos, puede utilizarse todo tipo de estructuras y materiales, propios del diseño de presas pequeñas, sin que pueda establecerse ninguna regla fija, pues el buen juicio del ingeniero determinará en cada caso el tipo y materiales más convenientes y económicos.

Según Yet Temple y Rapp (1972) citados por Morgan, 1986, menos del 1% de las cicatrices de deslizamientos se presentan en áreas boscosas, 47% están en terrenos cultivados y otro 47% en barbecho. La asociación de la erosión con la tala del bosque para la agricultura, queda así muy clara (Morgan, 1986). La tala del bosque para pasturas, causa una declinación sobre la resistencia al cortante tangencial de los suelos en un período de 5 a 10 años, necesarios para la pudrición de las raíces. Como resultado, los deslizamientos en suelos bajo pasturas en Nueva Zelanda, son activados por tormentas con períodos de retorno de 30 años, mientras que una tormenta con período de retorno de 100 años es requerida para producir deslizamientos en una zona boscosa (Rogers y Selby, 1980 citados por Morgan, 1986).

La estabilidad de una masa de suelo en una ladera respecto a un movimiento masal, puede ser evaluada por un factor de seguridad (F), definido como la relación entre la resistencia al cortante tangencial total (s) a lo largo de una superficie de corte dada y la cantidad de presión de corte (τ) desarrollada a lo largo de esta superficie.

$$F = s/\tau$$

El talud es estable si $F > 1$ y la falla ocurre si $F < 1$ ó $F = 1$. F puede ser definido como (Skempton y Hutchinson, 1969 citado por Morgan, 1986):

$$F = \frac{c' + (\gamma z \cos^2 \theta - \mu) \tan \theta'}{\gamma z \sin \theta \cos \theta}$$

Donde c' es la cohesión efectiva del suelo, γ es el peso unitario del mismo, z es la profundidad vertical al plano de falla, θ es el ángulo de la pendiente y θ' es el ángulo efectivo de fricción interna del suelo.

Las aplicaciones de esta ecuación a los deslizamientos muestra que los valores de F son particularmente sensibles a cambios en la cohesión efectiva del suelo (c') (cohesión incrementada por las raíces de los árboles, o disminuida cuando estos se talan y su sistema radical se pudre) y la profundidad vertical al plano de falla (z). De ahí que las medidas de control de movimientos masales, deben ser dirigidas a influenciar estos dos parámetros (Rogers y Selby, 1980, citados por Morgan, 1986).

De acuerdo con las investigaciones de Yagui y otros (1994), citados por Suárez, 1998, para fallas a poca profundidad para dos casos específicos en Japón, el factor de seguridad de acuerdo al modelo de análisis propuesto por Enoki aumentó de 10 % a 13,5 %, para niveles altos de densidad de vegetación.

En un caso específico en Hong Kong, Greenway (1987), citado por Suárez, (1998), reporta un aumento del 33% en el factor de seguridad para un talud con árboles de aproximadamente 10 metros de altura y 3 m de profundidad de las raíces, utilizando el método de análisis de Janbu. El efecto analizado en este caso fue el de profundización de la superficie crítica de falla de 1 a 2,5 m.

Dependiendo del modelo que se utilice, los factores de seguridad varían, pero generalmente, se obtienen valores de aumento inferiores al 30 % para casos normales de vegetación densa y superficies de falla hasta de dos metros de profundidad. En los casos de superficies de fallas profundas, el efecto es menor y para fallas de más de cinco metros de profundidad, el efecto es muy pequeño en razón a que las raíces de los árboles en taludes de pendiente fuerte, generalmente, alcanzan profundidades menores a cinco metros (Suárez, 1998).

No obstante, si se tiene una población vegetal multistrata distribuida en toda la ladera, a medida que la vegetación se distribuye de arriba hacia abajo o viceversa, las raíces van ocupando todos los espacios de la ladera, dándole una estabilidad mayor al fallamiento, así este se encuentre más profundo. Por tanto, no se puede pretender dar la solución de estabilidad a una ladera con pocas especies vegetales o con a misma especie.

Suárez (1998), argumenta que la revegetalización de un talud ayuda a controlar la erosión y a aumentar el factor de seguridad.

El efecto de la vegetación es una interacción compleja entre factores hidrológicos y mecánicos de difícil cuantificación. Un caso específico de estabilización de taludes utilizando revegetalización, es el deslizamiento de cucaracha en el corte Gaillard en el Canal de Panamá. El deslizamiento histórico de cucaracha se reactivó en 1986, bloqueando prácticamente el Canal (Berman, 1991, citado por Suárez, 1998). Como parte de un programa combinado de estabilización se plantaron 60.000 árboles de crecimiento rápido, tales como Acacios y Gomelinas (Rivera, 1991) citado por Suárez.

Así mismo, en la Zona Cafetera Colombiana se han realizado gran número de recuperación de áreas degradadas por movimientos masales, mediante la utilización de la vegetación, mediante tratamientos bioingenieriles (Rivera, 1998, 1999a, 1999b, 2001a, 2001b, 2001c, 2002a, 2002b, 2002c, 2002d, 2002e). De igual forma, el CIPAV en el Valle del Cauca, ha venido estableciendo vitrinas demostrativas de control de erosión severa y de movimientos masales, utilizando luego de evaluar la relación causa – efecto, únicamente la vegetación de la zona, mediante tratamientos bioingenieriles a costos muy bajos, involucrando la Sociedad Civil en las soluciones (Argelia, Dagua, Buga, .Obando).

De acuerdo con Suárez (1998), generalmente el proceso de revegetalización de taludes se ha concentrado en el uso de pastos olvidándose de los arbustos, hierbas y árboles. Como regla general, nunca se debe plantar una sola especie sino una sucesión de ellas de tal forma que se recupere el sistema vegetativo original.

La utilización de la vegetación en lugar de materiales de construcción inertes, o en combinación con ellos, conlleva una serie de ventajas. La protección de la vegetación, débil al principio, se hace más eficaz a medida que crece y se desarrolla. Su utilización para la protección de orillas, márgenes, etc., con la debida cautela en cuanto a obstaculizar el flujo de las aguas, debe ser considerada también en las técnicas restauradoras y correctoras, ya que con su uso se conseguirá además la mejora en calidad del paisaje y de las aguas (López, 1988).

2.2. Uso de la Bioingeniería en la estabilización y control de movimientos masales.

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

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 la erosión y movimientos 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.

2.2.1. 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, 1996). 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 el uso y mejoraras de los métodos vivos en mezcla con los de construcción (soluciones biotecnologicas). 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, 1996). 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).

2.2.2. Ventajas de las soluciones bioingenieriles.

- Se organiza e involucra a la comunidad en las soluciones, mediante la socialización, 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 el factor de seguridad y la estabilidad estructural del terreno (Franti, 1997).
- Compatibilidad con sitios ambientalmente susceptibles a los movimientos masales o lugares con acceso limitado (Franti, 1997).

2.3. Hidrotecnia de corrección de torrentes y estabilización de cauces

De acuerdo con López (1988), los principios que establecen los diseños y uso de hidrotecnias, destinadas a la corrección de torrentes y la estabilización de cauces, están dirigidos a la regulación y control total o parcial, de los efectos que la dinámica de los caudales que circulan por los cauces, produce en el contorno en forma de procesos de erosión, transporte y sedimentación de los materiales que lo forman, hecho que caracteriza el fenómeno torrencial. Toda la sistemática de la corrección está orientada a controlar esos procesos, en el lecho y márgenes evitando que se incorporen a la corriente de agua caudales sólidos. Se trata por tanto, de adoptar las medidas necesarias para que no lleguen a formarse esos caudales, o bien, si se han producido, para que queden reducidos al mínimo, por depósito o sedimentación de los materiales.

El dinamismo torrencial de las aguas sobre los cauces, aparece ligado a la tensión tractiva que ejercen sobre el contorno móvil del cauce que los limita.

La tensión tractiva que arranca y transporta los materiales en forma de acarreo, viene dada por (López, 1988):

$$\tau = \gamma \times R \times I$$

Siendo: τ (t/m^2) la tensión tractiva que ejerce por unidad de anchura del cauce, una corriente de agua de peso específico: γ (t/m^3) en una sección de radio hidráulico R (m) y que circula con una línea de energía de pendiente I . A la tensión tractiva se opone la resistencia que presentan los materiales al arranque y transporte, tales como: peso, inercia, fricción, entre otros. Esta resistencia se evalúa mediante la tensión tractiva existente en la descarga en el momento de iniciarse el movimiento en masa de los materiales, y se denomina tensión límite de arrastre o tensión crítica.

Según el mismo López, 1988, en cauces formados por materiales incoherentes, como son habitualmente los de los torrentes, esta tensión límite o crítica, viene dada por la siguiente relación:

$$(\tau_o)_{cr} = K(\gamma_s - \gamma)d$$

Siendo: $(\tau_o)_{cr}$ (t/m^2) la tensión crítica de los materiales de diámetro característico d (m) y peso específico γ_s (t/m^3), frente a la descarga de una corriente de agua de peso específico γ (t/m^3); y K un coeficiente adimensional que se determina empíricamente y varía según distintas experiencias y autores.

La comparación de los valores τ y $(\tau_o)_{cr}$ existentes en un momento dado en una sección de un curso de agua, califica su estado torrencial que tendrá lugar siempre que $\tau > (\tau_o)_{cr}$ y se manifestará en forma de procesos erosivos y/o de transporte de acarreo, que vendrán cuantificados por una función de la fórmula $F(\tau - (\tau_o)_{cr})$.

El concepto de tensión tractiva de los caudales frente a la tensión crítica del contorno, como matriz del desequilibrio torrencial de un cauce, establece los principios teóricos de su corrección. Toda actuación en la red hidrográfica o en la cuenca, que origine una disminución de los parámetros que integran la tensión tractiva de las descargas, o las que originen un incremento de la tensión crítica del contorno, darán lugar a una mejora o corrección de sus fenómenos torrenciales.

Bajo esta óptica, se comprende la necesidad y eficacia de las actuaciones de tipo biológico de restauración de la cuenca en el control del fenómeno torrencial. Por el control que ejercen sobre el suelo, retiran sedimentos en suspensión que enturbian y densifican la corriente, disminuyendo así el valor γ (peso específico del agua), y por tanto su tensión tractiva. Además, por el significativo control de las escorrentías directas que se logra, se ocasiona una reducción de los caudales punta circulantes, del radio hidráulico R de las secciones ocupadas por las descargas, e igualmente de su tensión tractiva.

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

Para lograr la planificación de la ordenación del uso, manejo y conservación del suelo y el agua a niveles de finca y, cuenca, se siguió la metodología propuesta

por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1984 citado por Rivera, 1986), la cual establece seis fases:

- Inventario: Toma de los datos necesarios para el diagnóstico.
- Interpretación: Análisis de los datos obtenidos de acuerdo con el objetivo que se pretende alcanzar.
- Formulación: Desarrollo del programa por establecer de acuerdo con los objetivos propuestos, buscando las alternativas técnicas más viables, económicas y rentables.
- Implementación: Definir las necesidades técnicas, económicas y de extensión complementarias a las alternativas u opciones escogidas para lograr ejecutar el programa de acuerdo con las metas que se pretenden alcanzar.
- Evaluación y seguimiento: Con frecuencia y oportunamente se hacen evaluaciones y el seguimiento del programa puesto en marcha y de las metas por alcanzar, con el objeto de modificar, ajustar y complementar lo ejecutado para que se alcancen los objetivos del programa propuesto.
- Beneficios: A la luz de los objetivos y metas por alcanzar se deben medir los beneficios sociales, económicos y técnicos obtenidos o replantear las estrategias de acción en caso de no haberse alcanzado estos.

3.1. Ubicación de la Zona de Estudio.

La Zona de estudio está ubicada en el municipio de Argelia Valle (Figura 1) con las coordenadas siguientes:

Latitud: 4° 44' N

Longitud: 76° 07' W.



Figura 1. Republica de Colombia. Ubicación Municipio de Argelia Valle del Cauca Colombia

Altitud: 1500 m.

Material Parental: Cenizas Volcánicas y Rocas de Esquistos Talcosos.

Suelos: Derivados de:

Esquistos Talcosos: Clasificados como unidad Catarina, troporthents, eutropepts de textura Franco Arcillosa a Franco Arcillo limosa,

Cenizas volcánicas: Clasificada como Unidad Fondesa, dystrandeps la cual esta constituida de textura Franco Arenosa de grano fino a Franco Limosa.

Pendiente: cuando predominan los suelos derivados de esquistos talcosos, las pendientes superan el 80 %. Cuando prevalecen las cenizas volcánicas, los suelos son ondulados y de pendientes más suaves, menores del 50%.

Los suelos derivados de los esquistos talcosos son altamente susceptibles a los movimientos masales, lo que hace necesario el establecimiento de sistemas Agroforestales.

Clima:

Precipitación: En la Tabla 3 y Figura 2, se presenta la distribución de las lluvias del municipio de Argelia Valle, provenientes de la Estación Climática Santiago Gutiérrez, reportadas por la Disciplina de Agroclimatología de Genicafé, Chinchiná Caldas Colombia.

**TABLA. 3. Distribución promedio Lluvias Argelia
(período 1972 - 2001)**

Meses	Lluvia Total (mm)
Enero	71
Febrero	88
Marzo	114
Abril	164
Mayo	160
Junio	109
Julio	82
Agosto	93
Septiembre	134
Octubre	175
Noviembre	140
Diciembre	90
Anual	1420

En la Figura 2 se observa como la precipitación de Argelia, se encuentra bien distribuida durante todo el año, presentándose dos períodos con lluvias pico, durante los meses de Abril y Mayo y Octubre y Noviembre. Estos son los meses en que hay que tomar las mayores medidas preventivas de conservación de suelos y control de erosión, para evitar tragedias y así mismo, son las épocas en que hay que hacer mayor seguimiento y evaluación a las obras de prevención y control de erosión para evitar fallas en las mismas y poder hacer las rectificaciones pertinentes en forma oportuna y conveniente.

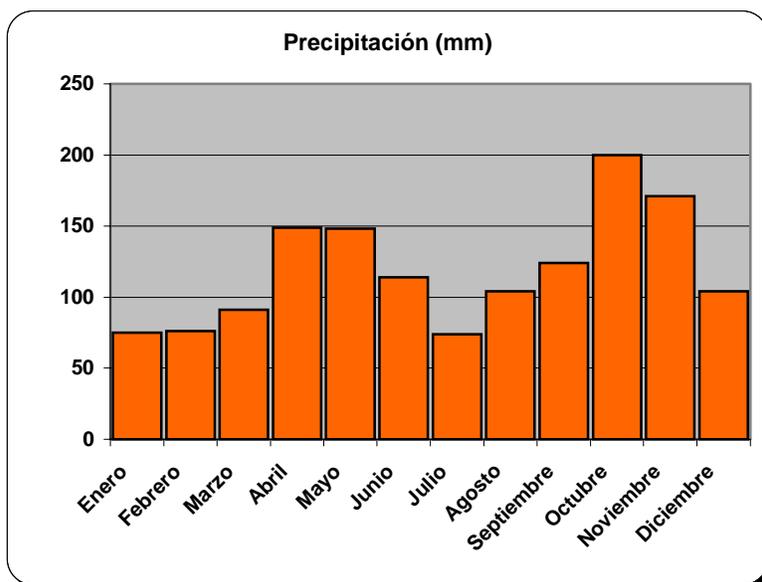


Figura 2. Distribución promedio lluvias (mm) municipio de Argelia Valle (1972 - 2001)

3.2. Talleres de Socialización, Sensibilización, Concientización y Capacitación

3.2.1. Cursos talleres comunitarios.

Se realizaron varios talleres sobre: Socialización, Sensibilización, Concientización del proyecto y de Capacitación a la comunidad afectada, tales como: Las ONG's existentes en Argelia: Ecoambientes, Coopavi, Fundarte, y Fundema, a los diferentes líderes comunitarios, concentraciones escolares y colegios y demás sociedad civil interesada. La capacitación estuvo relacionada con los procesos de erosión severa y movimientos masales, sus causas y consecuencias, como prevenir y controlar los problemas y la forma de inventariar y diagnosticar hasta encontrar la relación causa - efecto, de los eventos catastróficos. Además, se hicieron giras especializadas, para conocer problemas y soluciones en otros lugares del país.

3.3. Inventario y Diagnóstico en el campo.

Se efectuaron varios recorridos por los sitios con problemas de degradación severa por erosión y movimientos masales y sus áreas de influencia. Estos recorridos, se efectuaron con el acompañamiento y la participación de los líderes comunitarios, para ir discutiendo con ellos toda la problemática y procesos relacionados con la erosión y los movimientos masales y hacer las prioridades respectivas para atacar los sitios más críticos considerados por la comunidad y acordes con los criterios técnicos, lo que permitió ir haciendo el inventario y diagnóstico a la luz de las relaciones roca - suelo - topografía - clima - vegetación - animal - infraestructura - hombre.

3.4. Restauración de las cuencas y drenajes naturales de la vereda Villa Rosa

3.3.1 Ejecución de obras de bioingeniería en el control de erosión severa y movimientos masales.

Como estrategia, luego de la socialización del proyecto, sensibilización, concientización y capacitación por parte del CIPAV, se emprendió la acción en el campo, para lo cual se iniciaron los trabajos con la comunidad desde la línea divisoria de aguas de las cuencas, hasta su drenaje natural, mediante la siembra directa de guadua con labranza cero y la construcción de obras bioingenieriles.

Las comunidades afectadas, tuvieron la oportunidad de participar en toda la ejecución de las obras de control de erosión, estabilización de taludes, de cauces naturales, recuperación de negativos de carreta y sistemas de drenajes para la estabilización de la banca de la carretera.

3.4.1.1 Disipadores simples de energía:

Los disipadores simples de energía consistieron en sembrar sobre los taludes con problemas de erosión severa, 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 metros (Rivera 2001a; Rivera 2002a; Rivera 2002b).

3.4.1.2. Cubrimiento de áreas degradadas con maní forrajero (*Arachis pintoï*).

Como un complemento al tratamiento con disipadores simples de energía para aguas de escorrentía, se sembraron en medio de los 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 2001a).

3.4.1.3. Construcción de trinchos vivos escalonados para la estabilización de drenajes naturales.

Estas son estructuras totalmente vivas construidas únicamente para disminuir la velocidad del agua de escorrentía y con ello su energía cinética, para conducir así a la estabilización del fondo de los cauces y la base (pata) de los taludes laterales de los drenajes naturales.

Los trinchos vivos se construyeron dentro del 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 inicialmente, y que en el futuro, se conviertan en estructuras vivas. El diámetro de la guadua es de 0,10 m. y se utilizó verde 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 conviertan con el tiempo en estructuras totalmente vivas. Estos trinchos llevan vertedero y babero después del vertedero, para que el agua avance por el centro de la estructura y evitar así socavamiento de los taludes laterales de la quebrada y socavamiento del fondo de la misma por el impacto del agua proveniente del vertedero.. La función de estos trinchos es la de disipar la energía cinética de las aguas de escorrentía y no como muros de contención. o de represamiento de sedimentos, ya que serían totalmente contraproducentes en este tipo de soluciones.

3.4.1.4. 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 0,30 a 050 m de anchura y 0,50 a 2,0 m de profundidad, dependiendo de la hondura a la cual se encuentre el terreno firme. Estas Zanjas se llenan con varios tendidos (3 a 4 tendidos) de guadua joven (menor de dos años de edad preferiblemente), para que rebroten fácilmente, o con tendidos de ramas vivas de quiebrabarrigo (*Trichanthera gigantea*), matarratón (*Gliricidia sepium*), leucaena (*Leucaena leucocephala*) y Arboloco (*Montanoa quadrangularis*), u otros materiales de propagación vegetativa de la zona entre otras, colocadas a todo lo largo y en el sentido de la pendiente, y reforzados en los terrenos muy pendiente, por trinchos vivos. 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 disminuir así la presión de poros, para mantener una condición ideal de humedad (capacidad de campo) que impidiera los movimientos masales y posteriores taponamientos del cauce de la quebrada y la formación de represamientos y avalanchas, durante las lluvias torrenciales.

3.5. Recuperación del paso de la carretera en la vereda Villa Rosa.

El problema crítico consistió en que la carretera formaba en el sitio una especie de depresión que conducía a la acumulación de aguas subsuperficiales originadas de la montaña y aguas de escorrentía provenientes 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 totalmente saturado, tanto en invierno como en verano, 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, debido a la pérdida de cohesión del terreno. De ahí que las soluciones anteriores se hubieran centrado solo a la ingeniería convencional con la construcción de muros en concreto y gaviones en piedra, los cuales eran destruidos fácilmente por las avalanchas de la quebrada en las épocas de invierno durante los primeros aguaceros.

3.5.1. Manejo de las aguas en la banca de la carretera.

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

3.5.1.1. 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.

3.5.1.2. 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 propuso abrirlas cada 10 a 15 m, dependiendo de la pendiente del terreno, 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 predios vecinos en los períodos invernales. Así mismo se recomendó cubrirlas con cespedones.

3.5.1.3. 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.

3.5.1.4. Construcción de filtros vivos en la banca de la carretera: Con el fin de drenar rápidamente la banca de la carretera, para disminuir la presión de poros y aumentar así la cohesión del terreno, se construyeron filtros vivos en guadua que la atravesaron de un lado al otro.

3.5.1.5. Construcción de terrazas escalonadas en tierra:

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

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Realización de cursos talleres comunitarios.

Se realizaron ocho talleres discriminados así: Uno de Socialización, uno de Sensibilización, uno de Concientización del proyecto y cinco de Capacitación de la comunidad afectada.

Con los talleres de socialización, sensibilización, concientización y capacitación, se creó un sentido crítico y de pertenencia de la sociedad civil en cuanto a la comprensión sobre los procesos de erosión severa y movimientos masales y , la manera de prevenirlos y controlarlos con recursos propios de la región. En los talleres participaron las ONGs del Municipio, tales como: Ecoambientes, Coopavi, y Fundarte. Como Resultado de esta actividad social, se logró que muchas de las personas que hicieron parte activa del proyecto en cuanto a la ejecución de las obras, hoy hagan parte de proyectos del mismo municipio, asesoran otros municipios y participan de proyectos realizados por la ONG Ecoambientes, la Alcaldía Municipal y convenios CVC – CIPAV, en el control de erosión severa y movimientos masales en el Departamento del Valle del Cauca.

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

Se realizó el inventario y diagnóstico sobre los problemas de erosión severa y movimientos masales en la Vereda Villa Rosa, conformada por seis hectáreas de área afectada.

El problema principal se encontró en dos drenajes naturales torrenciales de Villa Rosa, los cuales se hallaban cruzando por encima de la carretera que conduce a varias veredas del municipio de Argelia, ocasionando la saturación e inundación permanente de un tramo de la banca de la carretera e impidiendo el paso libre vehicular en las épocas de invierno. Este problema se presentaba desde hacía aproximadamente 20 años, de acuerdo con los testimonios de la comunidad allí presente.

El cauce de las dos quebradas presenta una pendiente superior al 70 % y una tensión tractiva muy alta, debido al material parental de esquistos pizarrosos muy meteorizados, fracturados y sueltos, los cuales no oponían resistencia alguna al arranque y transporte en forma de acarreo por las aguas torrenciales de escorrentía en los períodos lluviosos, aumentando su peso específico y causando represamientos y avalanchas aguas abajo. Avalanchas que fueron capaces de destruir en varias oportunidades todas las obras de ingeniería convencional realizadas en épocas anteriores aguas abajo, para proteger la banca de la carretera, tales como muros en concreto y gaviones en piedra.

La quebrada se encontraba muy desprotegida de vegetación arbórea arbustiva y herbácea en ambos márgenes, debido a la presión de la comunidad en el

establecimiento de cultivos de café, plátano y maíz y otros transitorios. En la parte alta de la misma se presentaba un movimiento masal activo. Sus taludes laterales con pendientes mayores del 70 %, estaban muy blandos y saturados por agua (presión de poros muy alta) en ambas márgenes, disminuyendo el factor de seguridad de los taludes laterales, lo que facilitaba el desprendimiento permanente de los mismos, obstrucción del paso libre del agua en la quebrada y la formación de avalanchas en épocas lluviosas. Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Federacafé, 1975), la desprotección de las orillas de ríos y quebradas de la vegetación natural es la causa principal de la erosión de sus taludes laterales.

Toda asociación boscosa contribuye según su sistema radical a impedir el arrastre del suelo; protege sobre todo las orillas contra el impacto y la erosión por efecto de las corrientes torrenciales. Esta forma de protección del suelo de las orillas es la mas extensa en profundidad llegando incluso a las zonas constantemente inundadas. En las zonas en las que hay muchas raíces, las rupturas de las orillas son raras y únicamente se pueden registrar en el caso de que la corriente baja o media del agua haya horadado el suelo no consolidado bajo el sistema radical; además, la vegetación herbácea socavada no siempre es arrancada. El sistema radical del aliso por ejemplo, puede mantener las orillas casi verticales con una garantía absoluta (López, 1988).

Los socavamientos y desplomes ocurren generalmente por la presencia de horizontes sueltos con materiales gruesos (conglomerados) y deleznable cuando se tala la vegetación natural y desaparece la presencia de raíces (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1975).

Según López (1988), la resistencia elástica del ramaje de la vegetación divide el agua y la frena; por rozamiento impide el ataque de la corriente sobre la orilla, realizando una protección activa de la misma que no la puede proporcionar ningún material inerte. Los daños ocasionados por las crecidas en las formaciones ripícolas se reparan con los renuevos que ellas mismas producen y por el poder alto de regeneración que las caracteriza.

El gran poder de regeneración de la vegetación ripícola ha hecho que desde hace tiempo se vengán desarrollando métodos de defensa con ella. Todas sus especies brotan de cepa. Los sauces son capaces de desarrollar raíces secundarias de sus troncos y ramas cortadas, así como brotar de numerosas yemas durmientes. Se introducen en el suelo en forma de esquejes, varas o cañas sujetadas de diversas maneras para obtener una protección inmediata (López, 1988).

Los principios que establecen el diseño y uso de hidrotecnias destinadas a la corrección de torrentes y la estabilización de cauces están dirigidos a la regulación y control, total o parcial, de los efectos que la dinámica de los caudales que circulan por los cauces produce en el contorno en forma de procesos de erosión, transporte y sedimentación de los materiales que lo forman, hecho que caracteriza

el fenómeno torrencial. Toda la sistemática de la corrección está, pues, orientada a controlar esos procesos en el lecho y márgenes, evitando que se incorporen caudales sólidos a la corriente. Se trata por lo tanto, de adoptar las medidas necesarias para que no se formen esos caudales, o para que queden reducidos al mínimo por depósito o sedimentación de los materiales (López, 1988).

Todo lo anterior induce la necesidad y eficacia de las actuaciones de tipo biológico de restauración de las cuencas en el control del fenómeno torrencial. La vegetación debido al control del suelo que ejerce, retira sedimentos en suspensión que enturbian y densifican la corriente, disminuyendo así el valor γ , peso específico del agua, y por tanto, su tensión tractiva. Además, por el control significativo de las escorrentías directas que se consigue, se produce una disminución de los caudales punta circulantes, del radio hidráulico R de las secciones ocupadas por las descargas y de su tensión tractiva (López, 1988).

4.3. Restauración de las cuencas y drenajes naturales de la vereda Villa Rosa en el municipio de Argelia Valle.

Como estrategia, luego de la socialización del proyecto, sensibilización, concientización y capacitación por parte del CIPAV, se emprendió la acción en el campo, para lo cual se iniciaron los trabajos con la comunidad afectada y debidamente capacitada, desde la línea divisoria de aguas de las cuencas, hasta su drenaje natural, mediante la siembra de guadua y la construcción de obras bioingenieriles, tales como:

4.3.1. Disipadores simples de energía:

Los disipadores simples de energía consistieron en estacas vivas de nacedero (*Trichanthera gigantea*), colocadas a través de la pendiente del terreno, de las cuales rebrotaron y persistieron un 90 %, lo que dio lugar a la estabilización de la parte alta del drenaje natural aguas arriba, causante de los aportes mayores de materiales de colmatación. Resultados similares han sido reportados por Rivera 1998, en seguimiento de la recuperación de áreas degradadas por erosión severa.

4.3.2. Cubrimiento con maní forrajero (*Arachis pintoï*).

El tratamiento complementario con estolones de maní forrajero (*Arachis pintoï*) para dar cubrimiento denso y proteger así el terreno del impacto directo de las lluvias, presentó una eficiencia de cubrimiento del 100 %. Resultados similares, han sido reportados por Rivera, 2001.

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

Se construyeron 125 estructuras totalmente vivas que permitieron disminuir la velocidad del agua de escorrentía y conducir a la estabilización del fondo de los cauces y las bases (patas) de los taludes laterales de los drenajes naturales.

Estas estructuras permitieron bajar la densidad del agua y disminuir la tensión tractiva de la misma, al bajar el arrastre de materiales gruesos y en suspensión en los períodos de lluvias torrenciales.

Los trinchos vivos construidos en el cauce de las quebradas con guadua verde (*Guadua angustifolia*) (menor de dos años) a través de la pendiente y complementados con estacas vivas de nacedero colocadas verticalmente, tuvieron una eficiencia del 100%. El rebrote de la guadua fue del 10 % aproximadamente. Las estacas de nacedero rebrotaron y persistieron en un 90 %, resultados similares a los encontrados por Rivera, 1998.

Los trinchos se construyeron de arriba hacia abajo, lo que permitió ir disipando la energía cinética del agua y eliminar el arranque y arrastre de sedimentos en suspensión y de materiales gruesos del cauce y taludes laterales, lográndose así en un lapso de tres meses la estabilización del drenaje natural, lo cual se constató con la presencia del agua totalmente cristalina aún durante las lluvias torrenciales. La siembra de estacas vivas de nacedero se convirtieron en estructuras de refuerzo totalmente vivas. Los trinchos llevan vertedero y babero, para que el agua avance por el centro de la estructura y evitar así socavamiento del fondo del cauce y de los taludes laterales de la quebrada. La función de los trinchos fue más como disipadores de energía de las aguas de escorrentía, que evitaran la profundización del cauce y el socavamiento de taludes laterales y no como muros de contención. o de represamiento de sedimentos (colmatación) (Figuras 2, 3 y 4).



Figura 2. Construcción de Trinchos vivos Escalonados en quebrada Villa Rosa, Argelia Valle. Noviembre 8 de 2002



Figura 3. Quebrada Villa Rosa, Argelia Valle. Trinchos Vivos Escalonados. Noviembre 13 de 2002



Figura 4. Quebrada Villa Rosa, Argelia Valle. Trinchos Vivos Escalonados Argelia Valle, Villa Rosa. Febrero 5 de 2004

Como se puede observar en un período de dos años aproximadamente, en la quebrada Villa Rosa, se ha logrado la estabilización del drenaje natural, con la aparición de gran cantidad de vegetación multistrata nativa de la región y el crecimiento de la vegetación establecida mediante siembra de estacas vivas de

nacedero, arboloco y guadua. Como consecuencia de la revegetalización natural del drenaje natural, no se volvieron a presentar avalanchas en los períodos invernales, debido a que se disminuyó el peso específico del agua y así mismo su tensión tractiva, lo que se demuestra con el agua que avanza totalmente cristalina (Figuras 2, 3, 4).

4.3.4. Establecimiento de filtros vivos.

Los filtros vivos se establecieron en forma horizontal solo en los taludes blandos (presión de poros alta) a lado y lado del cauce de las quebradas, para controlar la saturación del terreno por aguas subsuperficiales y mantener así una condición de campo, que impidiera los movimientos masales y posteriores taponamientos del cauce de la quebrada y la formación de represamientos y avalanchas (Figura 5). Los Filtros vivos mostraron su eficiencia en un tiempo de 2 a 4 horas, al bajar la presión de poros a una condición de campo que permitió la estabilización inmediata del terreno.



Figura 5. Filtro vivo de guadua acompañado de trincho vivo para evacuar aguas subsuperficiales. Noviembre 8 de 2002

4.4. Recuperación del paso vial en un tramo de la vereda Villa Rosa, Argelia Valle Colombia.

Los trabajos de conducción de aguas por debajo de la carretera complementados con trinchos vivos y refuerzos con estacas de nacedero, permitió la estabilización de la banca de la carretera en forma inmediata y un refuerzo mecánico con las estacas sembradas en un período de seis meses.

4.4.1. Manejo de las aguas en la carretera.

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

4.4.1.1. Conducción de las aguas de la quebrada por debajo de la banca de la carretera: Introducción de Tubos

- Se introdujeron tres Tubos por debajo de la carretera, con el fin de dar paso al agua de la quebrada, lo cual era un problema en época de invierno. Para ello se utilizó tubería de concreto de 30 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 6).



Figura 6. 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.

4.4.1.2. Abertura de ventanas de evacuación de aguas de escorrentía en ambas cunetas de la carretera . Se recomendó abrir ventanas en las cunetas de la carretera hacia los taludes bajos de la misma. Estas ventanas se propuso abrirlas 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 debajo de los predios en los períodos invernales. Este sistema permitió solucionar el problema de concentración de aguas en forma inmediata y a costos muy bajos evitando así la necesidad de construir cajas en concreto demasiado costosas.

4.4.1.3. Manejo de coberturas densas en las cunetas: Se recomendó no desnudar las cunetas, sino hacer Manejo Integrado de Arvenses (Rivera, 1999a,

1999b) para mantener una cobertura densa permanente en las mismas y evitar su socavamiento de fondo y arrastre permanente de sedimentos aguas abajo.

4.4.1.4. Construcción de filtros vivos en la banca de la carretera: Con el fin de drenar rápidamente la banca de la carretera, que permanecía saturada tanto en invierno como en verano impidiendo el paso vehicular, especialmente en las épocas invernales, se construyeron filtros vivos en guadua que la atravesaron de un lado al otro (Figuras 7 y 8). Se construyeron 8 filtros con guadua.

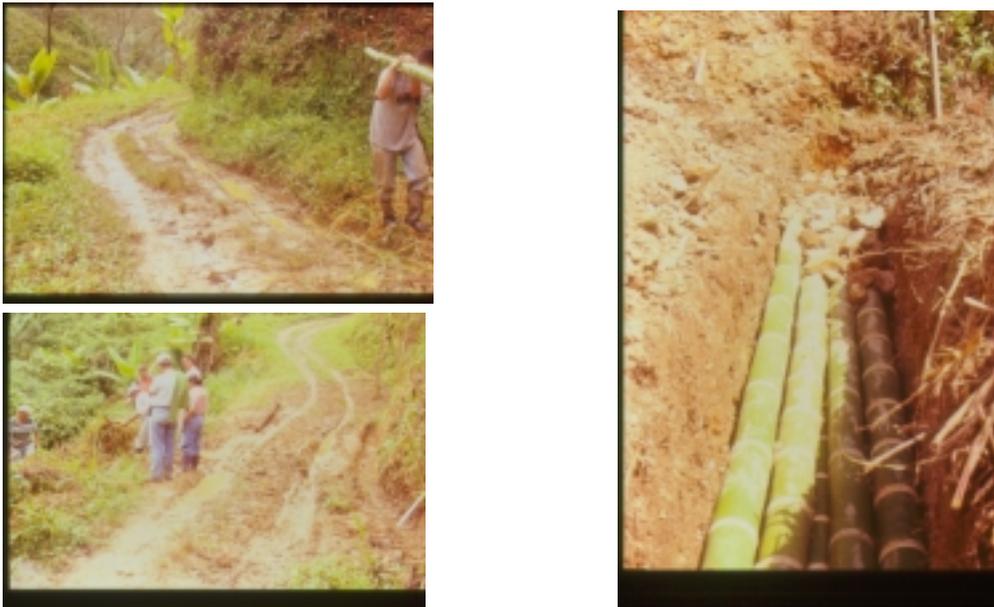


Figura 7. Construcción de filtros vivos atravesando banca de carretera para su drenaje. Noviembre 8 de 2002.



Figura 8. Estado actual de la carretera luego de los tratamientos bioingenieriles. Febrero 19 de 2003.

En la Figura 8 se observa como el terreno ha quedado completamente drenado y seco luego de establecidos los sistemas de drenaje. Hubo tramos de la carretera, que se secaron en dos horas después de establecidos los filtros.

Si se compara la Figura 8, con la Figura 9 se aprecia la revegetalización rápida de ambos taludes a lado y lado de la carretera en un período de tiempo muy corto (siete meses). Esto demuestra, que cuando se atacan oportunamente las causas del problema, uno de los indicadores de recuperación más efectivos es el establecimiento e invasión rápida de la vegetación multistrata nativa de la región.



Primera quebrada entrando mano derecha de la carretera (Quebrada Villa Rosa, Septiembre 19 de 2003).



Primera quebrada entrando mano izquierda de la carretera (Quebrada Villa Rosa, Septiembre 19 de 2003).

FIGURA 9. Recuperación de taludes de la carretera. Quebrada Villa Rosa, Argelia Valle (Septiembre 19 de 2004).

4.4.1.5. Construcción de terrazas escalonadas en tierra:

Luego de controlar la energía cinética del agua de la quebrada VillaRosa desde su nacimiento mediante la construcción de los trinchos vivos escalonados, se procedió a reconstruir parte de la banca de la carretera a un lado de la segunda quebrada entrando a la vereda Villa Rosa, la cual se destruyó como consecuencia de la crecida de la misma en épocas lluviosas. Se construyeron 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 10).



Noviembre 8 de 2002

Figura 10. Proceso de recuperación de banca de carretera, mediante terrazas escalonadas. Vereda Villa Rosa, Argelia Valle Colombia (Octubre 1 de 2003).

En la Figura 10 se observa como el negativo de carretera quedó completamente recuperado y protegido por la vegetación nativa de nacedero, para lo cual ha transcurrido 10 meses (Noviembre 8 de 2002 a Octubre 1 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 del municipio 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 luego de un buen diagnóstico, con base en la relación causa - efecto.

Lo anterior indica, que para recuperar áreas degradadas por erosión severa no se debe enfocar la solución solo al efecto del problema si no a su causa, la cual debe atacarse con muchos frentes de trabajo, como los indicados en el presente escrito.

4.5. LOGROS ALCANZADOS EN EL PRESENTE TRABAJO:

De los logros se pueden destacar los siguientes:

- Restauración de 6 Has de remociones masales
- Reestablecimiento de un paso vehicular crítico y crónico
- Se evitó traslado de caserío de 50 viviendas en la Vereda Maracaibo de Argelia Valle

- Cuatro ONG's fortalecidas
- 3250 jornales locales utilizados.
- 225 personas capacitadas entre ellas cuatro Universidades y tres Corporaciones Autónomas Regionales (CARs)
- Giras especializadas con unas 500 personas beneficiadas.
- Asesorías a dos comunidades nuevas, e Intercambios entre comunidades: ONG's que asesoran a comunidades, y comunidades que asesoran a otras comunidades.
- Mejoramiento de servicios ambientales :
Agua, Bosque, Biodiversidad y Paisaje.
- Se constituye el 1er Nodo Demostrativo de control de erosión severa.

5. 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, para 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 Unidad de suelos de la 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 de un buen recorrido y análisis de campo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las siguientes personas por su apoyo y colaboración permanente en la ejecución del presente trabajo:

Doctor Enrique Murgueitio, Director CIPAV.

Ingeniero Forestal MSc. Jairo Arias, Director encargado en la época de realización del trabajo, de la OGAT Norte de la C.V.C. en Cartago Valle

Profesor Licenciado Rafael Antonio Castaño V., Secretario Ejecutivo ONG Ecoambientes de Argelia Valle.

Walter Antonio Rodríguez Q. Presidente ONG Ecoambientes.

Mauricio Carvajal, Miembro de la ONG Ecoambientes .

Y a aquellas otras personas que de una u otra forma hicieron posible la culminación exitosa del presente trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

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>

BARRERA G., J.E.; RIVERA P.,JH; CADENA M.E. 2002. Evaluación del sistema radical de cuatro especies vegetales en la estabilización de laderas de la Zona Cafetera Colombiana. . IN: XI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Edafología y Ambiente para el Progreso Social, Cali (Colombia), Septiembre 18 al 20 de 2002. (Ponencia en Disco Compacto).

BARRERA G., J.E.; RIVERA P.,J.H.; CADENA M.E. 2003. Las raíces de la vegetación como elementos estructurales en la estabilidad de laderas. IN: Seminario Internacional de Agricultura de Conservación en tierras de ladera. Manizales (Colombia). Noviembre 26, 27 y 28 de 2003. 6p.

COKER, I., FLORES, R. A. 2000. Device for Extracting Large Intact Soil Samples Developed and used in a remote region of Bolivia. Electronical journal of geotechnical engineering (Online). Vol. 5. 2000. On line Internet: <http://www.ejge.com/2000/Ppr0003/Abs0003.htm>. (consultado en enero de 2001).

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Chinchiná (Colombia). 1975. Manual de conservación de suelos de ladera. 1ª edición. Chinchiná (Colombia), Cenicafé 1975. 267 p.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Chinchiná (Colombia). Cuarenta años de investigación en Cenicafé. Suelos Vol 1. Chinchiná (Colombia) Cenicafé 1982. 74 p.

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. and SOTIR, R.B. 1996. Biotechnical and soil bioengineering: Slope Stabilization, A practical guide for erosion control. John Wiley and Sons. 378 p.

LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. 1988. Corrección de torrentes y estabilización de cauces. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), colección FAO: Fomento de tierras y aguas, No. 9. Roma, Italia. 184 p.

MORGAN R.P.C. 1986. Soil Erosion and Conservation. Editorial. John Wiley & Sons, inc., 605 Third Avenue, New York, NY 10158. 298 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.; AMARIZ Z., M.; RINCON A., W. 1986. Plan de uso, manejo y conservación de los suelos del Centro Experimental Cotové. Medellín (Colombia), Universidad Nacional de Colombia, 1986. 313 p. (Tesis especialización).

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. 1999c. Susceptibilidad y predicción de la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera central colombiana. Medellín (Colombia), Universidad Nacional. Facultad de Minas, 1999. 525 p. 103. (Tesis: Doctorado). (Premio Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Noviembre. 2001).

RIVERA P., J.H. 2001a. Manejo y Estabilización de Taludes en Zonas de Ladera mediante Tratamientos de Bioingeniería. Chinchiná (Colombia), Cenicafe, 2001. 8 p. (Avances Técnicos CENICAFE N° 291).

RIVERA P., J.H. 2001b. Susceptibilidad a la Erosión y a los Movimientos Masales de los Suelos de Cenicafe Plan Alto y su Area de Influencia. Manizales (Colombia), Cenicafe, 2001. 22p. 44 Refs. Esp. (Ponencia en audiencia pública citada por Corpocaldas en Manizales, con la cual se dieron los argumentos técnicos y científicos que impidieron dar la Licencia Ambiental por parte de Corpocaldas a la firma Ingeocom para la explotación de una cantera en predios de Cenicafe (Diciembre 14 de 2001).

RIVERA P., J.H. 2001c. Susceptibilidad y Predicción de la Erosión en Suelos de Ladera de la Zona Cafetera Colombiana. Chinchiná (Colombia), Cenicafe, 2001. 50 p 52 Refs. Esp. (Compendio Tesis de Doctorado) (Segundo Premio Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Concurso Andrés Aguilar Santelises).

RIVERA P., J.H. 2002.a Uso de Métodos de Bio-ingeniería para control de erosión en Zonas de Ladera. . IN: XI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Edafología y Ambiente para el Progreso Social, Cali (Colombia), Septiembre 18 al 20 de 2002. Conferencia Magistral (Ponencia en Disco Compacto). 22 p.

RIVERA P, J.H. 2002.b Tratamientos biológicos y de bioingeniería para la prevención y control de la erosión y movimientos masales en zonas de ladera colombiana. In: Memorias Simposio Latinoamericano de Control de Erosión 2002. Bucaramanga – Colombia. Marzo 18 a 22 de 2002.. 10p. Memorias en CD-ROM.

RIVERA P, J.H. 2002c. Protección y recuperación de bordes de ríos y cañadas en zonas de ladera tropicales con tratamientos bioingenieriles y biotecnológicos. Cenicafe – Chinchiná. 2002. 8p.

RIVERA P., J.H. 2002d. 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: Seminario Taller Tres Especies Vegetales Promisorias para Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria: Nacedero *Trichanthera gigantea*, Botón de oro *Tithonia diversifolia* y Bore *Alocasia macrorrhiza*. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria CIPAV. Cali (Julio 3 a 5 de 2002) p 54-62.

RIVERA P., J.H. 2002e. Construcción de Trinchos Vivos para la Conducción de Aguas de escorrentía en Zonas Tropicales de Ladera. Chinchiná (Colombia), Cenicafe, 2002. 8 p. (Avances Técnicos CENICAFE N° 296).

SUÁREZ, D. J. 1998. Deslizamientos y estabilización de laderas en zonas tropicales. Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). Bucaramanga. 548 p.

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.