

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.

José Horacio Rivera P*

RESUMEN

Esta especie por sus características de rusticidad, facilidad de propagación, adaptación a diferentes ecosistemas, y la posibilidad de ser asociada con múltiples especies, ha mostrado ser exitosa como disipadora de energía en el transporte de aguas de escorrentía en forma de trinchos vivos escalonados en canales y cunetas; en la construcción de filtros vivos horizontales o en espina de pescado, para la evacuación rápida de aguas profundas en terrenos saturados con problemas de movimientos masales, se usa en siembras densas de estacas (20 cm entre estacas) para estabilizar taludes; en forma de barreras vivas para el control de derrumbes y protección de orillas de ríos y quebradas. Se reproduce fácilmente por estacas en un período de 40 días aproximadamente. Las estacas para la siembra pueden ser clavadas o acostadas, de tal manera que los nudos hagan contacto con el suelo.

1. INTRODUCCION

Los estudios relacionados con las pérdidas debidas a fenómenos naturales en España sitúan a los deslizamientos en el tercer lugar en cuanto a pérdidas económicas, detrás de las inundaciones y la erosión hídrica (Ayala *et al*, 1987; citado por TRAGSA y TRAGSATEC, 1994). Una situación similar se observa en Sudamérica, ya que de acuerdo con estadísticas de la OEA, los derrumbes se clasifican como uno de los 5 fenómenos naturales más destructivos y que más pérdidas económicas y número de muertes causan al año. En el período transcurrido entre 1960 – 1993, los movimientos masales dejaron cerca de 6.084 víctimas humanas, 4.117 damnificados y alrededor de 7 millones de dólares en pérdidas (OEA; 1994). En Nagasaki, Japón, en 1982, un aguacero intenso (127 mm.h^{-1}), activó 4.300 derrumbes, que causaron la muerte de 299 personas y destruyeron 2.200 casas (Abe y Ziemer, 1991b). El territorio Nacional por sus condiciones geológicas geomorfológicas y climáticas, presenta una degradación por movimientos masales de 19.137.239 ha, equivalente al 16,18 % del área del país y por erosión hídrica superficial de 73.000.000 ha equivalentes al 64 % del área del país (IDEAM, 2000). De acuerdo con Galvez, *et al.*, 1989 – IDEAM, 2001, en Colombia el problema de movimientos masales viene creciendo a través de los años con grandes consecuencias en pérdidas de vidas humanas, de infraestructura y damnificados. Es así como en 1981, se reportaron en el país 34 movimientos masales, 89 muertos y dos heridos, de los cuales 23 eventos se presentaron en Antioquia. En el año 1987, ocurrieron 125

* Ing. Agrónomo, Ph.D. Investigador Científico II, Líder Disciplina de Conservación de Suelos. Cenicafé.
Email: Horacio.Rivera@cafedecolombia.com, Septiembre de 2001.

movimientos masales, los que ocasionaron 580 muertos y 54 heridos, siendo Caldas el mayor afectado, con un saldo de 75 eventos. En 1999, se presentaron 417 movimientos masales, ocupando Antioquía el primer lugar con 56 eventos.

2. Influencia de la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea en la estabilización de los suelos a los movimientos masales:

La vegetación arbórea y arbustiva permite que se presenten sistemas radicales de mayor anclaje en lo profundo y hacia los lados en el perfil del suelo, aumentando su resistencia al cortante tangencial (resistencia del suelo a fallar o fracturarse) y con ello la estabilidad del terreno a los movimientos masales (Figura 1). 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 y áreas aledañas que pasaron de este sistema 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 forestales, ya que al cortarlos se inicia un proceso de pudrición de las raíces. Lo anterior es confirmado por varios autores quienes afirman que un tiempo después de remover la vegetación en zonas montañosas, aumenta la frecuencia y la cantidad de deslizamientos y derrumbes (Waldron, 1977; Ziemer, 1981; O'Loughlin y Ziemer, 1982; Abe y Ziemer, 1991a; 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, 1982).

Por otro lado la vegetación puede remover cantidades considerables de agua del suelo por evapotranspiración, lo cual resulta en presiones de poros negativas. 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 al cortante del suelo en un 60% (Swanston, 1969; citado por Ziemer, 1981).

El efecto protector de la vegetación maderable en la estabilidad de laderas 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 al cortante del suelo (Abe y Ziemer, 1991b; 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.

Los movimientos masales se han constituido en uno de los fenómenos naturales más destructivos que afectan a los humanos en el mundo, causando grandes catástrofes, víctimas humanas y pérdidas por miles de millones de dólares cada año tanto en zonas urbanas como rurales (Blume, *et al*, 1998; citado por Suárez, 1998)



Figura 1. Sistema de raíces de la vegetación arbórea que permite mayor anclaje en lo profundo y hacia los lados en el perfil del suelo

Se estima que las pérdidas causadas por este tipo de procesos degradativos, constituyen una cuarta parte de las pérdidas totales ocasionadas por desastres naturales (Van Westen, 1994), ya que se causan grandes daños a instalaciones, propiedades y vías de transporte y se pierden extensas áreas de suelos agrícolas y forestales (Gray y Sotir, 1996).

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.

Los daños ocasionados a las vías se traducen en pérdidas económicas para la comercialización y en inversiones altas en obras de mantenimiento y control. En los Estados Unidos, la reparación de los daños causados por deslizamientos en las autopistas federales le generó a ese país en 1973, gastos por 50 millones de

dólares y en el sistema de vías forestales en 1975 gastos cercanos a los 82 millones de dólares (Gray y Sotir, 1996).

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

Por lo general este tipo de problemas crece año tras año, debido al desconocimiento general en cuanto a la causa y sus procesos degradativos y de las tecnologías más adecuadas para contrarrestarlos hasta lograr la recuperación de área afectada. Por lo general las soluciones tradicionales a este tipo de eventos, han sido enfocadas a la ingeniería convencional de muros en concreto o piedra, los cuales son demasiado costosos y de una vida útil muy corta. De ahí que en el presente trabajo, se darán a conocer soluciones sencillas, eficientes, no perecederas y de costos muy bajos, utilizando los recursos que se tienen en el sitio del problema.

3. Uso del nacedero en la estabilización de movimientos masales en Cenicafé Plan Alto.

Cenicafé Plan Alto, se encuentra localizado en el Municipio de Manizales, en el extremo suroccidental, Cerca a Chinchiná Caldas, entre 1300 a 1600 m de altitud, en la zona de vida bosque muy húmedo premontano.

Zona altamente lluviosa por naturaleza (2.500 mm promedio anual) con suelos derivados de rocas anfibolitas, muy meteorizadas y fracturadas, de cohesión baja, donde se hace necesario el anclaje, refuerzo mecánico y la disminución de presión de poros (desaturación del terreno) por parte de la vegetación boscosa y arbustiva, para aumentar su estabilidad. En este caso con el nacedero, se ha logrado este objetivo en Cenicafé y en suelos de ladera de toda la Zona Cafetera Colombiana, donde para contrarrestar la formación de surcos y cárcavas profundas, se hace un manejo adecuado de las aguas de escorrentía con el establecimiento de trinchos vivos escalonados y manejo de las aguas subsuperficiales para estabilización de movimientos masales, con filtros vivos, para lo cual se usan estacas vivas de nacedero de longitudes y diámetros diferentes.

En la **Figura 2** se observa gran cantidad de movimientos masales y las prácticas bioingenieriles en los procesos de recuperación. Estos problemas, se vienen presentando a través de los años en los taludes altos y bajos de la carretera que conduce a Cenicafé Plan alto e internamente en las instalaciones de Cenicafé, especialmente en los períodos lluviosos, aunque también se presentan en ausencia de lluvias derrumbes en seco, conocidos popularmente como desplomes, indicando la susceptibilidad alta de estos suelos a los movimientos masales.

Lo anterior ha conducido a la Disciplina de Conservación de Suelos de Cenicafé desde el año 1989 a establecer, evaluar y hacer seguimiento en Cenicafé Plan Alto, en forma continua e ininterrumpida hasta la fecha, de una gran cantidad de prácticas preventivas y de control de erosión y de los movimientos masales, mediante obras bioingenieriles adecuadas de conducción de aguas de escorrentía y aguas subsuperficiales, tecnologías desarrolladas por esta misma Disciplina (Figuras 2, 3 y 4). A nivel biológico, se ha procedido a cubrir todos los taludes con vegetación de cubrimiento denso como el maní forrajero (*Arachis pintoï*), para evitar el impacto directo de las lluvias y contrarrestar así las pérdidas de suelo por erosión. Para prevenir los movimientos masales en Cenicafé Plan Alto, se ha recomendado por parte de esta Disciplina de Conservación de Suelos como práctica preventiva primordial, dejar el bosque existente en sus condiciones naturales de población multistrata, es decir sin disturbar, para que sirva como un sistema de anclaje amarre, refuerzo y disminución de la presión de poros de estos suelos y de la roca anfíbolita

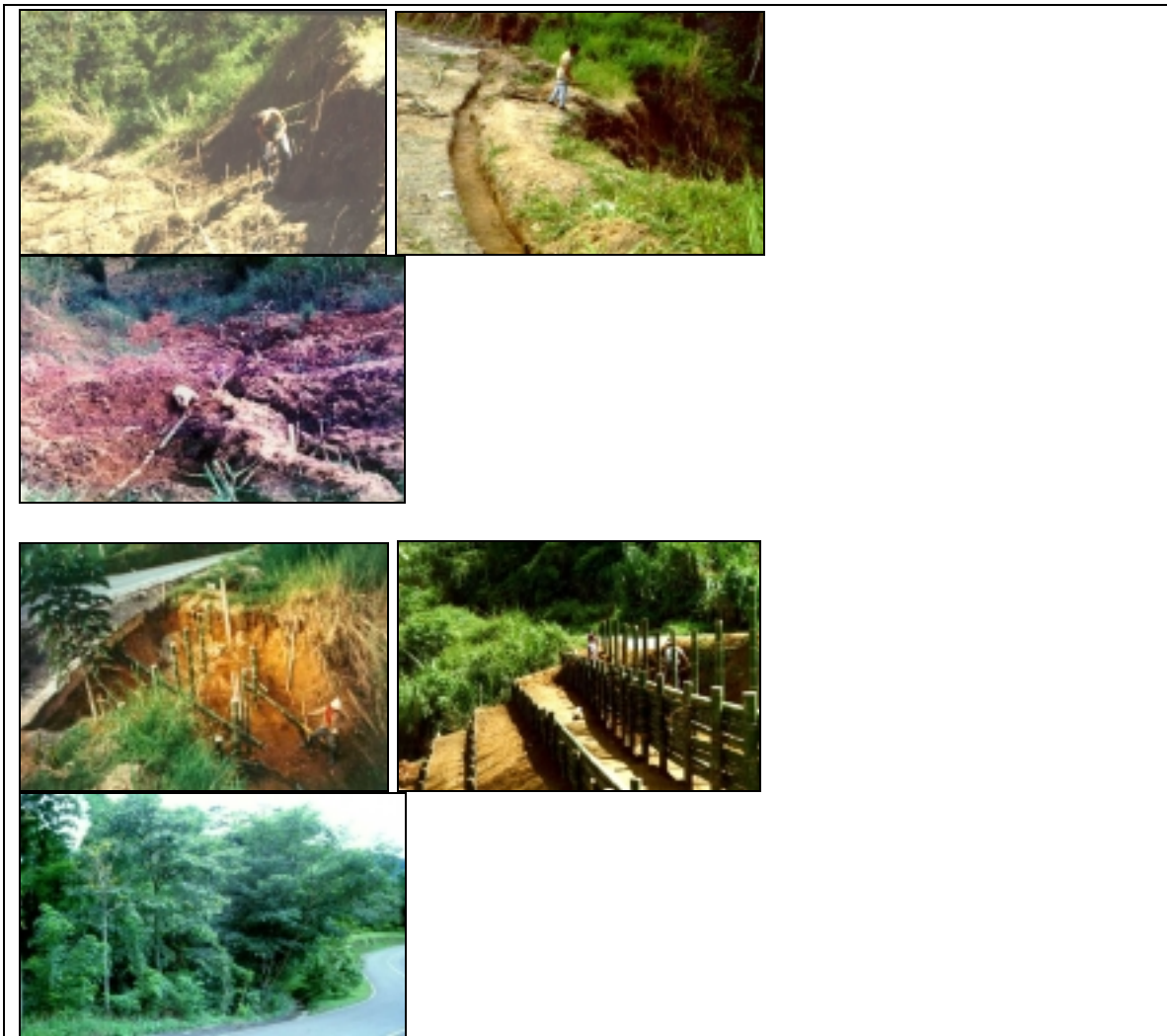


Figura 2. Secuencia de proceso de recuperación de Negativo de carretera frente a la entrada de empleados de Cenicafé Plan Alto (1994 – 2001). Se observan filtros vivos en guadua y una población multistrata, donde el nacedero es planta pionera y fundamental de la recuperación del problema.



Figura 3. Secuencia de proceso de recuperación de Negativo de Carretera (pérdida de la banca de la carretera) cerca a la planta eléctrica de Cenicafé (Mayo de 2000 – Noviembre de 2001). Se observa el establecimiento de filtros vivos de guadua y nacedero, conformando una población multistrata y la construcción terrazas escalonadas en tierra , reforzadas con nacedero, guadua (*Guadua angustifolia*), guaduilla (*Phyllostachys aurea*) y eucaliptus (*Eucaliptus spp*).





Figura 4. Secuencia de procesos de recuperación de movimiento masal sobre la vía que conduce a Cenicafé Plan Alto (1999 – 2001). Se retira el derrumbe, se establecen filtros vivos de nacedero, se siembra *Arachis pintoii* (Maní forrajero) como cobertura densa de protección contra las lluvias y se complementa con estacas vivas de nacedero en toda el área del derrumbe.

subyacente, meteorizada y fracturada, de tal forma que se aumente la cohesión de los suelos y se disminuyan los movimientos masales en los períodos lluviosos. Esta vegetación, a la vez que actúa como refuerzo al aumentar la cohesión del suelo y de los materiales fracturados, permite una evapotranspiración permanente, disminuyendo la presión de poros en el terreno, coeficientes importantes de tener en cuenta en la resistencia de estas laderas al cortante tangencial, parámetro muy relacionado con los movimientos masales. Como complemento a la función que esta ejerciendo este bosque natural, se han venido reforzando los taludes altos y bajos de la carretera que conduce a Plan Alto, con siembra de vegetación multistrata de buen anclaje profundo y lateral, tales como el nacedero (*Trichanthera gigantea*), matarratón (*Gliricidia sepium*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), guadua (*Guadua angustifolia*), guaduilla (*Phyllostachys aurea*), eucalipto (*Eucalyptus* spp), entre otras, buscando con ello la estabilidad de estas laderas, lo cual ya se ha ido logrando paulatinamente.

Todo este cúmulo de experiencias producto de la investigación, han permitido dar soluciones eficientes, persistentes y de costos muy bajos equivalentes a una reducción del 98 % en relación con las obras de ingeniería convencional. Estos trabajos, están siendo utilizados como vitrinas demostrativas para hacer transferencia de tecnología a todos los niveles, es decir, a agricultores, técnicos de todas las profesiones, entidades públicas y privadas como Comités de Cafeteros de todo el país, Corporaciones Regionales Autónomas, Alcaldías municipales Universidades, Sociedades de ingenieros, ONG's, Fundaciones Ecológicas y de Investigación, Organismos Internacionales como la FAO y el Banco Mundial. Además, han permitido escribir gran cantidad de publicaciones como parte de las transferencias de tecnologías (Rivera, 2001; Rivera, 1999a,b; Rivera, 1998).

4. Experiencias en la recuperación de orillas de cañadas y ríos usando nacedero.

Se tienen resultados exitosos con nacedero en trabajos realizados en cañadas y ríos en diferentes localidades de la Zona Cafetera Colombiana, utilizando tratamientos bóingenieriles y biotecnológicos.

4.1 Estabilización de cañada en la Finca Rafael Escobar en Supía Caldas.

En la Figura 5 se presenta la secuencia del tratamiento de una cañada en la localidad de Supía Caldas, con una altitud de 1320 m, precipitación promedio anual de 2254 mm, temperatura promedio anual de 21,7 °C y suelos Unidad Guamal, *typic eutopepts*, altamente susceptibles a la erosión superficial y movimientos masales (Rivera, 1990; 1999c).



Figura 5. Secuencia de recuperación de una quebrada erosionada en su cauce y taludes laterales (Granja Rafael Escobar, Supía, Caldas).

En la Figura 5 se observa la construcción de trinchos vivos escalonados, contruidos en guadua (*Guadua angustifolia*), quiebrabarrigo (*Trichanthera gigantea*)y cañabrava (*Gynerium sagittatum*), con el fin de estabilizar el cauce evitando su profundización y el socavamiento de taludes. Los trinchos van bien empotrados en el cauce y en los taludes, para evitar su socavamiento, siguiendo las instrucciones sobre construcción de trinchos vivos (Rivera, 2002). Los trinchos se inician de arriba hacia abajo, con el fin de ir disipando la energía del agua paulatinamente.

En la Figura 5 se observa además la estabilización del cauce, y el restablecimiento rápido de la vegetación nativa de la zona, en un tiempo menor de tres meses. Esto demuestra como bajo condiciones de buena humedad, la sola estabilización del cauce y de sus taludes laterales, inducen al restablecimiento rápido de la vegetación natural multistrata preexistente.

4.2 Estabilización de cañada en la Finca La Sirena en Sevilla Valle.

En la Figura 6 se presenta la secuencia del tratamiento de una cañada en la localidad de Sevilla Valle, con una altitud de 1540 m, precipitación promedio anual de 1617 mm, temperatura promedio anual de 20,3 °C y suelos Unidad Parnaso, typic eutopepts, altamente susceptibles a los movimientos masales.

En la Figura 6 se observa la construcción de trinchos vivos escalonados, contruidos en guadua y quiebrabarrigo, con el fin de estabilizar el cauce evitando su profundización y el socavamiento de taludes. Los trinchos van bien



Figura 6 Secuencia de recuperación de un drenaje natural en la Granja La Sirena en el municipio de Sevilla Valle.

empotrados en el cauce y en los taludes, para evitar su socavamiento, siguiendo las instrucciones sobre construcción de trinchos vivos (Rivera, 2002). Los trinchos se inician de arriba hacia abajo al igual que en el caso anterior.

En la Figura 6 se presenta la estabilización del cauce, y el restablecimiento rápido de la vegetación multistrata nativa de la zona, en un tiempo menor de tres meses. Esto demuestra al igual que en el primer caso, como bajo condiciones de buena humedad, la sola estabilización del cauce y de sus taludes laterales, inducen al establecimiento rápido de la vegetación natural preexistente.

4.3 Estabilización de tramos de ríos con tratamientos biotecnológicos.

Los tratamientos biotecnológicos se refieren al establecimiento de prácticas usando la ingeniería convencional de muros en concreto o piedra,

complementados con la vegetación de la zona para aumentar la vida útil de la obra, o permitir que al final perdure el complemento biológico.

Cuando las aguas del río avanzan y golpean en algunos puntos de las bases de sus taludes, ocurren socavamientos y desplomes, los cuales están relacionados con la presencia de horizontes sueltos con materiales gruesos (conglomerados) y deleznable, especialmente en ausencia de raíces de vegetación multistrata. Al ser socavado el segundo horizonte, se origina el desplome rápido del primero, convirtiéndose en un proceso remontante, que dependiendo de la pendiente y longitud del talud o ladera, puede llegar a desestabilizar gran parte de la cuenca. La mayoría de los sedimentos que arrastran los ríos, provienen de socavamientos, desplomes, y retomas de materiales asentados en los tramos medios e inferiores.

La medida principal de control es el establecimiento de vegetación multistrata a lado y lado de las corrientes de agua, tales como quiebrabarrigo (*Trichanthera gigantea*), guadua (*Guadua angustifolia*), cañabrava (*Gynerium sagittatum*), matarratón (*Gliricidia sepium*), arboloco (*Montanoa ovatifolia*), sauce (*Salix humboldtiana*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), guaduilla (*Phyllostachys aurea*), dependiendo de las condiciones climáticas de la zona.

Al establecer alguna práctica de control de erosión en un río, hay que tener presente el aumento de los caudales en épocas lluviosas y especialmente con aguaceros de intensidades altas y duraciones largas. En estos casos la siembra simple de vegetación arbórea y arbustiva, no es suficiente, ya que el material puede ser fácilmente transportado por el agua. Por tanto, es necesario en estos casos establecer estructuras biotecnológicas principalmente, utilizando los recursos disponibles en el lugar.

4.3.1 Estabilización de un Tramo del Río Chinchiná.

En la Figura 7 se observa a la entrada de Cenicafé, un tramo del río Chinchiná, donde el agua golpea el talud formado de conglomerados y totalmente desprotegido de la vegetación natural. En este caso, ya se han presentado varios desplomes y pérdida del área productiva en la parte alta. Se sugirieron varias alternativas de control, tales como encauzamiento del río por el centro del cauce y el establecimiento de estructuras en gaviones. Es muy importante tener en cuenta en estos casos el costo de las obras su eficiencia y persistencia en el tiempo. Encauzar el agua por el centro, es una alternativa sencilla, pero de poca duración ya que en una sola crecida del río se pueden arrastrar demasiados sedimentos aguas arriba y colmar nuevamente el cauce con el desvío posterior de las aguas. Las estructuras en gaviones, presentan una vida útil corta, ya que cualquier contacto de este con una piedra arrastrada por el río puede reventar el alambre y conducir a que el gavión se desocupe rápidamente, además, por lo general los gaviones se llenan con piedras pequeñas que pueden ser arrastradas fácilmente por el agua al quedar el gavión suelto. Estas estructuras

también se pueden volcar en poco tiempo por socavamiento del río en su base. Lo más recomendable en este tipo de casos, son las obras biotecnológicas (Combinación de estructuras mecánicas y vivas (plantas)) (Gray y Sotir, 1996; Gray y Leiser, 1982), que consiste para este caso en conformar un muro con piedras grandes sueltas existentes en el río, cerca al sitio donde las aguas hacen su impacto contra el talud (Figura 7). Se deja una playa libre de unos tres metros entre el muro en piedra y el talud, para ser sembrada inmediatamente con arboles y arbustos de la región y permitir la regeneración natural de la vegetación nativa preexistente, especialmente el nacedero que se comporta en estos casos por precocidad en una planta pionera (Figura 7). De esta manera, se logra el establecimiento de una vegetación multistrata, capaz de estabilizar con su sistema radical y entrecruce de raíces la base del talud (Figura 7). Esto permite con el paso del tiempo, el establecimiento de una estructura definitiva y no perecedera. Con este sistema, se logró la estabilización del talud con un ahorro hasta del 82 % en relación con las obras ingenieriles convencionales.



Figura 7. Secuencia de tratamiento biotecnológico sobre el río Chinchiná (Cenicafé).

5. BIBLIOGRAFIA

ABE, K. ; ZIEMER, R.R. 1991a. 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>

ABE, K.; ZIEMER, R.R. 1991b. Effects of tree roots on shallow – seated landslides. *In*: Proceedings, Geomorphic Hazards in Managed Forests, XIV IUFRO World Congress, 5-11 August 1990, Montreal, Canada. USDA Forest Service Gen. Tech. Report PSW-130, Berkeley, California. 11-20.
On line Internet: <http://www.rsl.psw.fs.fed.us>

COKER, I.; FLORES, R. 2000. A Device for Extracting Large Intact Soil Samples: Developed and used in a remote region of Bolivia. On line Internet: <http://geotech.civen.okstate.edu/ejge/Ppr0003/Part4>. (Enero de 2001).

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

GALVEZ, C. E., SOTO, R., VALENCIA, M., DUQUE, J. C., MARTINEZ, J.A. y TORO, J. C. 1989. Pesquisa en el diario El Espectador sobre deslizamientos ocurridos en el territorio Colombiano en el período 1980 – 87. Boletín de Vías Universidad Nacional (Manizales) XVI (67): 73 – 113.

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

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.

IDEAM. 2000. Terrenos afectados por movimientos en masa en Colombia. On line Internet: <http://www.ideam.gov.co>

IDEAM, 2001. Condiciones e indicadores ambientales en Colombia, proyecciones en el corto mediano y largo plazo. Informe mensual. On line: www.ideam.gov.co/informe/index4.htm.

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 steep land 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. 1990. Determinación de los índices de erosividad, erodabilidad y erosión potencial en la zona cafetera central colombiana. Palmira (Colombia), Universidad Nacional de Colombia, 1990. 310 p. (tesis de M.Sc). (Premio Nacional de la Ciencia del Suelo, 1993).

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, Nov. 2001).

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. 2002. 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.

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.

TRAGSA Y TRAGSATEC. 1994. Restauración hidrológico – forestal de cuencas y control de la erosión. Madrid. 902 p.

VAN WESTEN. C. J. 1994. Application of geographic information systems to deterministic landslides hazard zonation. Boletín de Vías Universidad Nacional (Manizales) XXI (79): 9 – 140.

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.