



AVANCES TÉCNICOS

256

Cenicafé

Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica / Octubre de 1998

CONTROL DE CÁRCAVAS REMONTANTES EN ZONAS DE LADERA MEDIANTE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

José Horacio Rivera-Posada*

Las cárcavas se definen como zanjas más o menos profundas, que se originan por el socavamiento repetido del terreno que ocasiona el flujo incontrolado del agua que escurre ladera abajo (agua de escorrentía). Cuando las cárcavas evolucionan con crecimiento hacia arriba y hacia los lados de la ladera, toman el nombre de cárcavas remontantes (2). La presencia de cárcavas en un terreno indica un grado avanzado de degradación, ya que la mayoría de las veces se inician luego de la pérdida superficial del suelo por efecto del impacto de las lluvias, la destrucción de los agregados naturales del suelo, la erosión laminar y en surcos, ó como consecuencia del uso y manejo inadecuado de los suelos y la ausencia de prácticas de



Figura 1. Cárcava remontante en estado avanzado.

conservación. Los problemas pueden presentarse también por la construcción de vías sin obras de conducción de aguas de escorrentía y por descargas de caudales sobre taludes inferiores sin disipación de su energía cinética. Una de las limitaciones principales en el control de cárcavas remontantes la constituyen los costos, cuando la solución se enfoca hacia la construcción de estructuras de concreto, desconociendo otras soluciones alternas y eficientes, como los tratamientos de tipo biológico, en los cuales se utilizan los recursos existentes en la finca o área de influencia del problema.

* Investigador Científico I. Conservación de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Cuando los procesos de erosión se han iniciado, la pérdida de suelo es irreparable y la estabilización requiere de gran inversión de tiempo, esfuerzo y dinero, llegando a ser en ocasiones el costo más elevado que el mismo valor del predio. Por esta razón, frecuentemente se permite que los procesos de degradación continúen aceleradamente, haciendo además muy difícil y costosa su estabilización.

El control de cárcavas remontantes se hace más urgente cuando la cabeza de ésta crece hacia arriba y hacia los lados, luego de cada temporada invernal y a menos que el proceso sea detenido oportunamente, pone en peligro el resto de la finca, carreteras, viviendas, puentes o vidas humanas (Figura 2).

Las cárcavas remontantes son frecuentes en la zona cafetera colombiana, principalmente en suelos con pendientes mayores del 40% y originados de materiales metamórficos fracturados, con meteorización avanzada. También en suelos formados por cenizas volcánicas que reposan sobre materiales metamórficos y en aquellos suelos de origen sedimentario. El control de cárcavas remontantes por lo general se torna complejo, ya que en el proceso intervienen aguas superficiales y



Figura 2. Cárcava profunda en cuneta de carretera por ausencia de coberturas vegetales.

subsuperficiales, que ocasionan saturación del área, profundización del cauce principal de la cárcava, destrucción de sus taludes, movimientos masales, derrumbes, agrietamientos, represamiento de aguas de escorrentía y avalanchas, que destruyen las obras efectuadas previamente en el drenaje aguas abajo. Para ello se vienen utilizando materiales obtenidos en las fincas tales como guadua (*Guadua angustifolia*), quiebrabarrigo o nacedero (*Trichanthera gigantea*), matarratón (*Gliricidia sepium*) y caña brava (*Cyperium saggittatum*) entre otros, y como complemento, piedra y escombros de construcciones.

PROCESOS Y CAUSAS DE LA FORMACIÓN DE CÁRCAVAS

Por lo general, las cárcavas se inician cuando hay mala conducción y regulación de aguas de escorrentía y subsuperficiales (Figura 3). Se pueden formar por algunas de las siguientes razones:

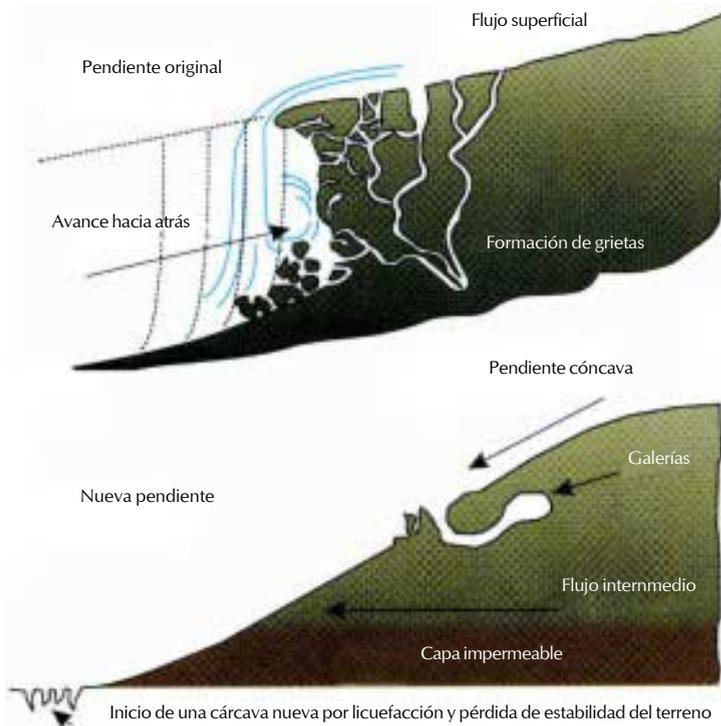
- Cambios en el uso del suelo: La tala y las quemas generalizadas de una cuenca forestal densa y la siembra posterior de cultivos transitorios, tales como maíz, fríjol, yuca y tomate entre otros, manejados con desyerbas drásticas, que originan crecimientos máximos de caudales, incontrolables en épocas lluviosas. Además, debido a la falta de anclaje vertical y horizontal ejercido por el sistema radical de la vegetación arbórea preexistente, se presenta la pérdida de estabilidad de las laderas y como consecuencia, los movimientos masales que posteriormente dan origen a nuevas cárcavas; Rice, 1977; Gray, 1971 y Dynes, 1967, citados por Florez (3).
- Siembras en dirección de la pendiente, que favorecen el encauzamiento incontrolado y aumento de la velocidad del agua de escorrentía en las laderas.
- Desyerbas drásticas generalizadas y repetidas en todo el terreno, con el uso de azadón y los herbicidas, que desprotegen totalmente los suelos (8).
- El sobre-pastoreo, del ganado.
- La desprotección de desagües naturales.
- Unión de dos o más cauces. Es el caso de la construcción de carreteras, donde se cambian con frecuencia las formas naturales de los drenajes.
- Carreteras trazadas por lugares no recomendables geológicamente, debido a la presencia de rocas de tipo metamórfico, fracturadas y en estado avanzado de meteorización.

- Construcción de carreteras sin cunetas ni cajas colectoras de aguas de escorrentía, o cajas hechas entre tramos de cuneta muy largos y sin conducción segura de las aguas hacia un lugar bien protegido del impacto de caída del caudal acumulado.
- Cunetas no revestidas con concreto o de coberturas vegetales densas.
- Ausencia de mantenimiento periódico de cunetas y cajas colectoras de aguas de escorrentía.
- Socavamientos y saturación de las laderas, debido a una caída permanente de agua sin amortiguación y conducción segura de salida.
- Saturación del terreno debida a la presencia de aguas subsuperficiales naturales, o provenientes de un tanque averiado; tuberías de acueducto y/o alcantarillado rotas.
- El arrastre de suelo fértil que reduce la productividad natural del terreno.
- El depósito de suelos infértiles provenientes de las zonas erosionadas sobre terrenos fértiles en las partes bajas.
- Reducción del área útil de los cultivos y los rendimientos por unidad de superficie, lo cual disminuye el valor de la tierra.
- Riesgo de caída para el ganado en pastoreo, al caminar por los bordes de las cárcavas.
- Socavamientos cerca de los caminos y carreteras.
- Sedimentación en quebradas y ríos, con posible ocurrencia de avalanchas en épocas de lluvias e inundaciones, destrucción de viviendas, cultivos, puentes, carreteras y la colmatación de represas en distritos de riego y centrales hidroeléctricas.

DAÑOS CAUSADOS POR LAS CARCAVAS

Entre los daños más frecuentes ocasionados por las cárcavas se tienen:

- Aumento de los costos en el mantenimiento de equipos en distritos de riego y centrales hidroeléctricas.
- Aumento de los costos en el tratamiento del agua para el consumo humano.



DIAGNÓSTICO DE LOS PROBLEMAS DE EROSIÓN POR CARCAVAS REMONTANTES

Por lo general, los intentos para controlar la formación de cárcavas fracasan, cuando sólo se llevan a cabo soluciones parciales e inadecuadas buscando principalmente reducir los costos, y en otros casos, por la adopción de medidas equivocadas, debido a la identificación incorrecta de la causa del problema (6). Se pueden formar cárcavas por erosión superficial a través de la ampliación y coalescencia de pequeñas depresiones y cortes en una ladera o también por socavamientos subsuperficiales y desplome de los mismos, Thornes, 1976 citado por Kirby y Morgan (6).

Lo más importante de tener en cuenta cuando se presentan problemas de cárcavas profundas, cárcavas remontantes, desestabilización de taludes y movimientos masales como las solifluxiones, es el estudio del origen del agente causante, que por lo general es el agua.

Figura 3. Dibujos que representan el proceso mediante el cual se amplía una cárcava. En la medida que la cabeza de la cárcava retrocede, es mayor la altura de caída del agua; el efecto de cascada erosiona el suelo, ya que salpica y arremolina contra el escarpe, dejando la parte alta en saliente.

Cuando el problema es causado por las aguas superficiales, estos procesos tienen soluciones más sencillas, mediante simple desviación y conducción controlada de éstas; pero en el caso de aguas subsuperficiales, o cuando se presenta ambos tipos, la solución se torna compleja. Esta situación confunde a los técnicos y agricultores y es la razón por la cual se procede al establecimiento de muros en concreto o gaviones, para contrarrestar los desplazamientos del terreno y no en controlar el agente causante que en estos casos es el agua.

Las obras en concreto en ocasiones propician mayor peso en la ladera y la acumulación de aguas causando saturación del terreno, lo que da origen a la formación de coladas de lodo que pueden arrastrar consigo las obras realizadas. Por tanto, si se tiene en cuenta previamente los principios teóricos básicos sobre los procesos de degradación, sería más sencilla y económica la solución. En tales casos toman fuerza y valor los tratamientos de tipo biológico, con los cuales se tienen en cuenta todos estos procesos intrínsecos.

CONTROL MEDIANTE TRATAMIENTOS DE TIPO BIOLÓGICO

Con el fin que sea el mismo agricultor quien de solución oportuna a sus problemas de erosión, se han venido estudiando en Cenicafé nuevas alternativas para el control de las cárcavas profundas y las remontantes originadas por desestabilización de las laderas en la zona cafetera colombiana (7). Para ello, se vienen usando exclusivamente recursos propios de las fincas, especialmente la vegetación multistrata de cada región, recurso con el cual cuentan los agricultores para la recuperación de áreas con procesos de degradación avanzada y, además, como prácticas complementarias a las obras de ingeniería civil, que permitan aumentar su vida útil. También se recomienda como complemento en las soluciones el uso de piedra y escombros de construcciones.

Según Hudson (4), en el control de la erosión por cárcavas, es más eficaz un bulto de fertilizante que un bulto de cemento, ya que aunque las obras de concreto son a veces necesarias, es preferible restaurar las cárcavas mediante el uso de la vegetación. Las estructuras ya sean de hormigón,

concreto, madera o cualquier otro tipo de material de construcción, se deterioran y socavan con el tiempo, lo que las hace menos eficaces. La vegetación por el contrario, al multiplicarse, prospera y mejora a través de los años.

La vegetación ofrece al suelo una protección física frente al impacto de la lluvia y la escorrentía y reduce la velocidad del agua al aumentar la resistencia hidráulica del terreno; por tanto, disminuye la capacidad erosiva del agua. Si la velocidad se ha reducido lo suficiente, entonces se sedimentan parte de los materiales arrastrados. A partir de este momento se empieza a regenerar la vegetación natural, como ocurre en el caso de cárcavas profundas formadas en las cunetas de carreteras (Figura 4).

En el control de este tipo de procesos degradativos se viene aplicando con éxito la siguiente estrategia, producto del seguimiento y evaluación permanente de los diferentes trabajos que se realizan al respecto en diferentes regiones de la zona cafetera colombiana:

- Desviación de aguas de escorrentía que penetran por el sitio de la cabeza de la cárcava. Esto se logra, mediante una acequia de corona recubierta con cespiones de pasto grama (*Paspalum conjugatum*, *Paspalum notatum*), pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) o protegida en su parte superior con una barrera viva de limoncillo (*Cymbopogon citratus*), vetiver (*Vetiveria zizanioides*) o pasto imperial (*Axonopus scoparius*). En su defecto y con el fin de



Figura 4. Cuneta protegida con cobertura densa de maní forrajero (*Arachis pintoi*), Subestación de experimentación de Cenicafé, La Catalina (Pereira, Risaralda).

proceder a una solución más rápida y eficiente, se puede construir un caballón en tierra, cubierto con cespedones de pasto grama (*Paspalum conjugatum*). Cuando se construye una acequia de corona, se debe localizar a una distancia entre 5 a 20 m de la cabeza de la cárcava.

- Suavizar escarpes en los taludes dentro de la cárcava, para evitar que se erosionen y facilitar la revegetación natural, además de la siembra de vegetación densa y rastrera adaptada al lugar, de tal forma que asegure una protección permanente de los taludes.
- Proteger el fondo de las cárcavas, mediante construcción de trinchos escalonados, piedra acomodada, escombros de construcciones y troncos bien distribuidos en el fondo del cauce de la cárcava. Cuando se presenta cárcavas remontantes deben hacerse las siguientes prácticas complementarias:
 - Buscar en la base de la cabeza de la cárcava todas las fuentes de agua subsuperficiales que afloran en el sitio y evacuarlas a su cauce principal en la mayor brevedad posible mediante canales o zanjas. Estas zanjas se deben construir en sentido de la pendiente, con el fin de evacuar rápidamente las aguas superficiales y subsuperficiales, para evitar así infiltraciones y posibles movimientos masales producto de la saturación de capas permeables que se deslizan ladera abajo por efecto de la pendiente, la fuerza de gravedad del terreno y la presencia de planos de deslizamiento tales como el material parental superficial o de capas impermeables dentro del perfil. Las zanjas deben llevar trinchos escalonados. En ocasiones, los sitios donde afloran las aguas subsuperficiales se encuentran totalmente saturados, formando coladas de lodo, de tal forma que al hacer las zanjas estas se cierran nuevamente. En estos casos, es necesario complementar los canales con trinchos escalonados con vertedero, contruidos a espacios cortos (cada 1 ó 2 m), con el fin de mantener un canal abierto y permitir de esta manera la salida rápida y continua del flujo de agua almacenada en el suelo. Otra alternativa es abrir la zanja en tramos cortos (1 a 2 m) y depositar en el fondo de ella filtros vivos hechos en guadua (*Guadua angustifolia*). Para ello se procede a cortar la guadua joven, en trozas de 1m de longitud y se depositan en el fondo del canal abierto y en el sentido de la



Figura 5.
Construcción de filtro vivo en espina de pescado, usando guadua (*Guadua angustifolia*).

pendiente. Tres o cuatro trozas, una encima de la otra, son suficientes para formar un filtro vivo, de manera tal que el agua pueda fluir libremente (Figura 5). A partir de este primer tramo de zanja con sus filtros respectivos, se continúa ininterrumpidamente haciendo un nuevo tramo y así sucesivamente hasta alcanzar el drenaje principal de la cárcava. Este tipo de filtro se puede hacer también con estacas de plantas que rebroten fácilmente, tales como el quiebrabarrigo o nacedero, matarratón, caña brava entre otros, y como en el caso anterior se conviertan luego en un bosque de galería de protección que permite el paso libre del agua y estabilización de la cárcava.

- En la construcción de trinchos, los materiales vegetales utilizados deben ser de rebrote fácil, para que finalmente se transformen en una estructura viva. Los trinchos deben quedar bien empotrados en los taludes y en el cauce del canal (1) y tener una altura efectiva baja, máximo entre 0,5m a 0,7m con vertedero central, para evitar su colmatación y posterior volcamiento. Es importante tener presente que en zonas de ladera de la zona cafetera colombiana, donde predomina las lluvias frecuentes y de intensidad alta, estos trinchos no cumplen una función de muros de contención ni de retenedores de sedimentos que conduzcan a su colmatación, y posterior volcamiento, sino como disipadores de

energía, función contraria a lo esperado en zonas planas.

Los trinchos se deben construir siempre de arriba hacia abajo del drenaje, con guadua joven, menor de dos años, estacas de quiebrabarrigo o nacedero, matarratón, caña brava y sauce entre otros, con diámetro mayor de 5cm y longitud de 0,5 a 1,00 m para que rebroten fácilmente y se conviertan igualmente en estructuras vivas multistratas, permanentes, que amarren el terreno.

Cuando en el área de captación, alrededor de la cárcava y dentro de ella, ocurren agrietamientos, estos se deben sellar con material arcilloso de la misma cárcava y compactar con un mazo. De esta manera, se evita en épocas lluviosas que haya infiltraciones, saturación del terreno y movimientos masales, ya que se favorece la escorrentía máxima.

Finalmente, toda el área de captación de la cárcava, se debe sembrar con vegetación multistrata de crecimiento rápido existente en la zona del problema, para ayudar a la estabilización del terreno, tales como pastos kikuyo, yaraguá (*Melinis minutiflora*), argentina (*Cynodon dactylon*), puntero (*Hyparrhenia rufa*), india o guinea (*Panicum maximum*), estrella (*Cynodon plectostachyus*), leguminosas tales como kudzú tropical (*Pueraria phaseoloides*), añil rastrero (*Indigofera spicata*), maní forrajero (*Arachis pintoii*), árboles y arbustos de fácil propagación vegetativa y por semilla, tales como estacas de quiebrabarrigo o nacedero, matarratón, caña brava, sauce, guadua, guaduilla (*Phyllostachis aureus*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*) entre otros. Se debe hacer seguimiento perma-

nente de las obras establecidas, especialmente en las épocas lluviosas, después de cada aguacero intenso, para su rectificación oportuna y el sellado permanente de grietas.

EJEMPLO DEL CONTROL DE UNA CÁRCAVA REMONTANTE EN LA ZONA CAFETERA

Localización del problema. La cárcava remontante se encontraba ubicada en las Fincas cafeteras Providencia y La Aurora, Municipio de Palestina, Caldas, a una altitud de 1.500 m, precipitación promedio anual de 2.378 mm, temperatura promedio anual de 22,5°C, humedad relativa del 76%, suelos Unidad Chinchiná, melanudands, con substratos de esquistos anfibolíticos y grafiticos.

Se logró la estabilización de dicha cárcava en corto tiempo (3 meses) y su recuperación total en 1 a 3 años, a un costo bajo en relación con las obras de concreto. Los resultados de recuperación se observaron teniendo como indicativo el crecimiento inmediato de la vegetación espontánea y el rebrote posterior y establecimiento de los materiales vegetales utilizados en la construcción de trinchos escalonados como

Tabla 1. Desarrollo biológico del material vegetativo sembrado por estacas usados en prácticas de control de erosión.

Especie	Tiempo de siembra (meses)	Rebrote de estacas (% promedio)	Crecimiento Promedio (cm)
<i>Guadua angustifolia</i> (Guadua)	1	10	2
	10	8,7	51
<i>Gliricedia sepium</i> (Matarratón)	1	70	2
	2	90	8
	3	50	50
<i>Gynerium saggitatum</i> (Caña brava)	1	30	2
	10	80	250
<i>Trichanthera gigantea</i> (Nacedero)	1	52,6	5
	1,5	80	15
	4	80	65
	6	96	210
		10	90



Figura 6. Cárcava remontante en las fincas Providencia y La Aurora en Palestina, Caldas. Unidad Chinchiná, Melanudands. Vista de frente (Enero de 1991).

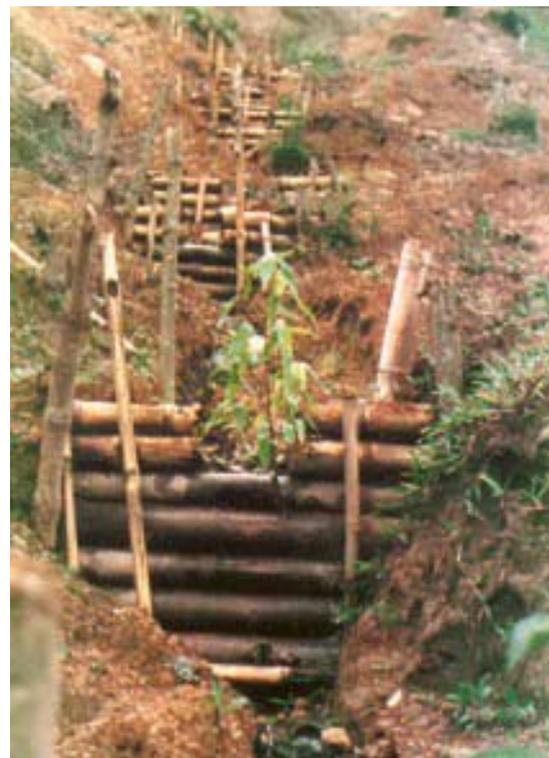


Figura 7. Evacuación de aguas superficiales mediante trinchos escalonados en guadua (*Guadua angustifolia*). Obran como disipadores de energía. Fincas Providencia y La Aurora (Palestina Caldas).

estructuras disipadoras de energía, los filtros vivos y los materiales sembrados en el resto del área. En la Tabla 1, se relaciona el porcentaje de rebrote y el crecimiento a través del tiempo, de algunos de los materiales vegetales utilizados en las obras de control de erosión. Se observa cómo las especies de mayor rebrote por estacas son el nacedero o quiebrabarrigo con un porcentaje del 90% y un crecimiento de 2,10m promedio luego de diez meses de establecidas las obras de control de erosión en el campo.

En segundo lugar se encontró el matarratón, con un porcentaje de rebrote del 50% y crecimiento de 0,50m promedio, luego de diez meses de establecidas las obras de control de erosión en el campo. La guadua, presenta tan solo un 9% promedio. No obstante este porcentaje bajo de rebrote, la guadua logra un buen establecimiento dando lugar a un guadual, que en mezcla con los otros materiales establecidos conforma una población multistrata de gran capacidad de anclaje y estabilización. Las estacas vegetales que mejor rebrotan son aquellas con un diámetro superior de 5 cm.

En la Figura 6 se observa la cárcava de tipo remontante de 1,5 ha aproximadamente, formada en las fincas contiguas La Providencia y La Aurora. Ésta, en los períodos lluviosos,

daba lugar a la presencia de avalanchas de lodo y piedra que taponaban frecuentemente la carretera que conduce del municipio de Chinchiná, al de Palestina, Caldas.

A partir de Julio de 1991 la Disciplina de Suelos de Cenicafé, luego de efectuar el respectivo diagnóstico y determinar la relación causa efecto del problema, inició una estrategia de control de la cárcava mediante la evacuación de las aguas subsuperficiales y de escorrentía (Figura 7). Con estos trabajos preliminares se contrarrestaron los problemas de avalanchas en la carretera en forma inmediata. Durante el primer año, el área se recuperó en un 70%, lo cual fue constatado mediante comparación de fotografías tomadas en diferentes épocas y desde un mismo sitio, para tener un punto de referencia en las comparaciones (Figuras 8 y 9) (7). Los costos de los tratamientos fueron sólo de mano de obra, ya que los materiales necesarios para las soluciones biológicas de control de la erosión se encontraban en las dos fincas. Se invirtieron 290 jornales, equivalentes actualmente a \$3'077.480.

A esta fecha, junio de 1999, el área se encuentra totalmente recuperada y cubierta de vegetación multistrata en un 99% (Figura 10) y la solución con obras civiles hubiera representado inversiones por encima de varios cientos de millones de pesos.

Figura 8. Cárcava remontante en fincas providencia y La Aurora en Palestina Caldas. Unidad Chinchiná, Melanudands. Construcción de trinchos escalonados vista desde arriba hacia abajo (Septiembre 1991).



Figura 9. Recuperación de Cárcava remontante en fincas providencia y La Aurora en Palestina Caldas. Unidad Chinchiná, Melanudands. Construcción de trinchos escalonados vista desde arriba hacia abajo (Octubre de 1994).



Figura 10. Estabilización de la cárcava remontante en las fincas Providencia y La Aurora en Palestina, Caldas. Unidad Chinchiná, Melanudands. Vista de frente (a) y de arriba hacia abajo (b) (Junio de 1999).

LITERATURA CITADA

1. ANAYA G., M.; MARTINEZ M., M.R.; TRUEBA C., A.; FIGUEROA S., B.; FERNANDEZ M., O. Manual de conservación de suelos y del agua. Chapingo, Colegio de Postgraduados, 1997. 581 p.
2. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. FEDERACAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. CENICAFÉ. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná, Cenicafé, 1975. 267 p.
3. FLOREZ, A. Geomorfología del área Manizales, Chinchiná, Cordillera Central, Colombia. Amsterdam, Universidad Van Amsterdam, 1986. 159 p. (Tesis: Ph.D).
4. HUDSON, N. Conservación de suelos. Barcelona, Reverté S.A., 1982. 335 p.
5. HUDSON, N. Soil conservation. 3.ed. United States, Iowa State University Press, 1995. 391p.
6. KIRBY, M. J.; MORGAN, R.P.C. Erosión de suelos. México, Limusa S.A., 1984. 367p.
7. RIVERA P., H.; GOMEZ A., A. El sombrío de los cafetales protege los suelos de la erosión. Chinchiná, Cenicafé, 1992. 8 p. (Avances Técnicos Cenicafé No 177).
8. RIVERA P., H. Por qué no se debe usar el azadón como herramienta de desyerba en sus cafetales. Chinchiná, Cenicafé, 1996. 4 p. (Avances Técnicos Cenicafé No 233).

En zonas de ladera con problemas de cárcavas y movimientos masales:

- Es más eficiente hacer prácticas de drenaje que muros en concreto.
- Los trinchos escalonados deben cumplir la función de disipadores de energía cinética y no de retenedores de sedimentos. Estos no son estructuras fuertes capaces de contrarrestar movimientos masales.
- El control de cárcavas se logra complementando los drenajes con poblaciones vegetales multistratas de la misma región.
- El nacedero o quiebrabarrigo es la planta de mayor porcentaje de reproducción por estaca.

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

Cenicafé

Centro Nacional de Investigaciones de Café
"Pedro Uribe Mejía"

Chinchiná, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723
A.A. 2427 Manizales
cenicafe@cafedecolombia.com

*Edición: Héctor Fabio Ospina O.
Fotografía: José Horacio Rivera S.
Gonzalo Hoyos S.
Diagramación: Gonzalo Gallego G.*