

CONTROL DE CÁRCAVA REMONTANTE MEDIANTE TRATAMIENTOS DE TIPO BIOLÓGICO

José Horacio Rivera Posada
Centro Nacional de Investigaciones de Café
CENICAFE

RESUMEN

Se hizo el tratamiento, seguimiento y evaluación de la recuperación de una cárcava de tipo remontante con una área de 1.5 hectáreas, ubicada en la población cafetera de Palestina (Caldas) Colombia, en las fincas Providencia y La Aurora, a una altitud de 1500 m, precipitación promedio anual de 2378 mm, temperatura promedio anual de 22.5°C, humedad relativa del 76%, suelos Unidad Chinchiná (*Typic melanudans*), con sustratos de esquistos anfíbolíticos y grafiticos. La recuperación se efectuó mediante el manejo de las aguas superficiales (usando como disipadores de energía trinchos vivos escalonados) y subsuperficiales, mediante obras sencillas de drenaje utilizando filtros de guadua (*Guadua angustifolia*). Los trabajos se complementaron con la siembra generalizada de vegetación multiestrata existente en el área de influencia del problema. Se logró la recuperación total de la cárcava en tres años aproximadamente a un costo bajo.

ABSTRACT

It was made the treatment, follow-up and evaluation of the recovery of a backward-advance type of gully with an area of 1.5 hectares, located in the town of the coffee zone of Palestina (Caldas), Colombia, in Providencia and Aurora farms, at an altitude of 1500 m, average annual rainfall of 2378 mm, average annual temperature of 22.5°C, relative humidity of the 76%, Chinchiná unit soils (*Typic melanudans*), originated over slates amphibolites and graphitic rock material. The recovery was effected by managing the overland flow (using stepping brush and log barriers as energy dissipators) and surface flow, through simple drainage works by using guadua (*Guadua angustifolia*) filters. The recovery work was complemented with sowing of multistrata vegetation existing within the area of influence of the problem. The total recovery of the gully was achieved in three years approximately at low cost.

1. INTRODUCCIÓN

Las cárcavas son definidas como zanjas más o menos profundas originadas por socavamientos repetidos sobre el terreno, debido al 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 (Federacafé, 1975). La presencia de cárcavas en un terreno indica un grado avanzado de degradación ya que, la mayoría de las veces, las cárcavas se inician luego de la pérdida superficial del suelo por efecto del impacto de las lluvias, por la destrucción de los agregados naturales del suelo, por la erosión laminar y en surcos, como consecuencia del uso y manejo inadecuado de los suelos y ausencia de prácticas de conservación, o por la construcción de vías sin obras conductoras de aguas de escorrentía, o por descarga de caudales sobre taludes inferiores sin disipación de su energía cinética. Una de las limitantes principales en el control de cárcavas remontantes son los costos en su control cuando la solución se enfoca hacia las estructuras hechas en concreto y por el desconocimiento de otras soluciones alternas, eficientes y de menor costo, como son los tratamientos de tipo biológico utilizando los recursos existentes en la finca o área de influencia del problema.

Debido al desconocimiento de prácticas de control diferentes a las tradicionalmente desarrolladas, mediante el uso de obras de concreto o estructuras gavionadas, el control de la erosión por cárcavas remontantes, ha sido considerado difícil y costoso, ya que cuando el proceso ha iniciado la pérdida de suelo es irre recuperable y la estabilización requiere de gran inversión de tiempo, esfuerzo y dinero, resultando el costo, a veces, más elevado que el mismo valor de la finca, razón por la cual los agricultores y las

mismas empresas del Estado permiten que los procesos de degradación continúen aceleradamente, haciendo aún más difícil y costosa su estabilización. El control de cárcavas 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.

Las cárcavas de tipo remontante son frecuentes en la zona cafetera colombiana, principalmente en suelos con pendientes mayores del 40%, originados de materiales metamórficos fracturados y con grado de 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 subsuperficiales que ocasionan saturación del área, profundización del cauce principal de la cárcava, destrucción de sus taludes, movimientos en masa, agrietamientos, derrumbes, represamientos de aguas de escorrentía y avalanchas que, como consecuencia, destruyen las obras efectuadas previamente en el drenaje aguas abajo.

Rivera (1991, 1992, 1993, 1994, 1996) está desarrollando desde 1990, en CENICAFÉ, un proyecto de investigación sobre prevención y control de la erosión del suelo al nivel de finca cafetera (19 granjas experimentales distribuidas por todo el país, Comités de Cafeteros y fincas de agricultores). La finalidad del proyecto es evaluar la eficiencia, la persistencia, los costos de las prácticas preventivas y de control de erosión y la capacidad de rebrote y de establecimiento de los materiales vegetales usados para tal fin, con miras a dar a los agricul-

tores e instituciones afines, alternativas de prácticas de control de erosión que sean sencillas de realizar, eficientes, persistentes, de bajo costo y acordes con el paisaje natural del lugar donde son realizadas sin causar impacto ambiental al mismo. Para ello se vienen utilizando materiales propios de las fincas tales como guadua (*Guadua angustifolia*), quiebrabarrigo o nacedero (*Trichanthera gigantea*), matarratón (*Gliricidia sepium*) y caña brava (*Gynerium sagittatum*) y, como complemento, piedra y escombros de construcciones.

2. PROCESOS Y CAUSAS DE LA FORMACIÓN DE CÁRCAVAS.

Según Hudson (1982), la fórmula de Manning relaciona el gradiente (S), la geometría (R) y la rugosidad (n) del terreno con la velocidad de manera que:

$$V = R^{2/3} S^{1/2} / n$$

Una vez ha comenzado la cárcava, el canal es de sección más angular y profunda que la original; es decir, aumenta el radio hidráulico (R). El cauce está libre de vegetación, de tal forma que el coeficiente de rugosidad, n, probablemente disminuirá. Para que la velocidad (V) permanezca constante se debe disminuir el gradiente y esto es lo que ocurre casi invariablemente; el gradiente del lecho es más llano que el original. El resultado, como se muestra en la Figura 1 A y B, es que a medida que la cabeza de la cárcava retrocede curso arriba es mayor la altura de caída del agua. Ese tramo experimenta, por lo general, una erosión más activa. El efecto de cascada es el que erosiona el suelo ya que salpica y arremolina contra el escarpe. La parte más baja del mismo se erosiona dejando la parte alta en saliente hasta que cae, dando lugar a una cara vertical, momento a partir del cual todo el proceso comienza de nuevo.

Una vez comienza la cárcava, los cambios se manifiestan en un aumento del radio hidráulico R, una disminución del coeficiente de rugosidad n y una probable disminución del gradiente, S. En resumen, el efecto general es que aumenta la velocidad, razón por la cual la erosión en cárcavas se perpetúa a sí misma y no se autocorrigió.

Por lo general las cárcavas se inician cuando hay mala conducción y regulación de aguas de escorrentía y subsuperficiales. Se pueden formar por algunos de los siguientes aspectos:

- Cambios en el uso del suelo: la tala y las quemas generalizadas de una cuenca forestal densa y siembra posterior de cultivos transitorios, tales como maíz, frijol, yuca y tomate entre otros, manejados con desyerbas drásticas, que originan crecidas máximas de caudales y que se tornan 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, 1986).
- Siembras en dirección de la pendiente, que favorecen el encauzamiento
- Desyerbas drásticas, generalizadas y repetidas en todo el terreno, con el uso del azadón y herbicidas, que desprotegen totalmente los suelos (Rivera, 1996).
- El sobre pastoreo con eliminación de la capa vegetal protectora del suelo.
- La desprotección de desagües naturales, caso de ríos y quebradas, mediante la tala y las quemas generalizadas.

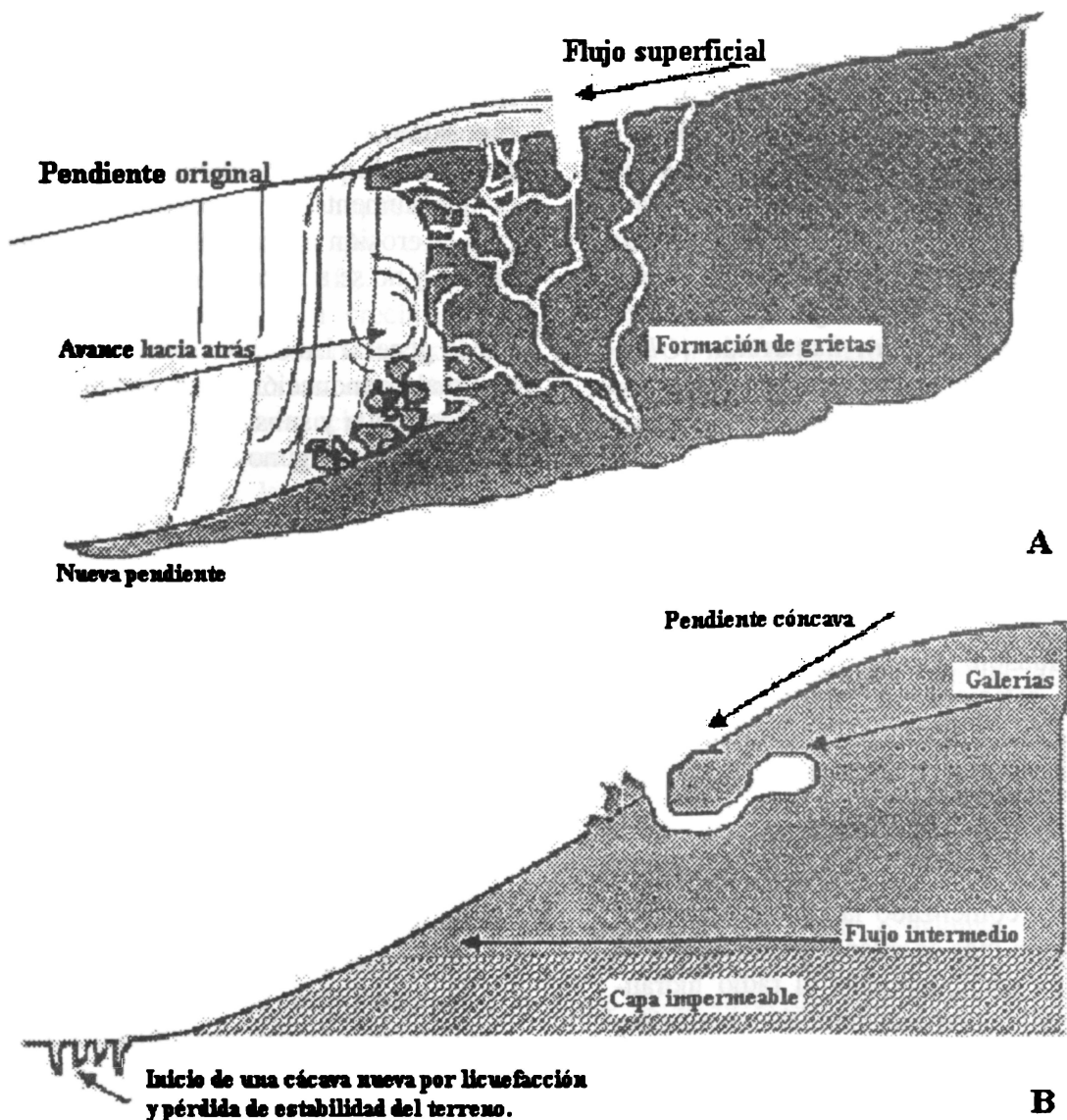


FIGURA 1 A, B. procesos en la evolución progresiva de la cabeza de una cárcava (Lal, 1992).

- Unión de dos o más cauces aumentando su caudal máximo. Es el caso de la construcción de carreteras, donde se cambian con frecuencia las formas naturales de los drenajes.
- Carreteras trazadas por sitios no recomendables geológicamente: presencia de rocas de tipo metamórfico, fracturadas y en estado avanzado de meteorización; en muchos casos, con buzamiento positivo, es decir, inclinación de las rocas en sentido de la pendiente, lo que origina desprendimientos permanentes de los taludes altos y bajos de las carreteras. Esta situación origina taponamientos permanentes de las vías especialmente en las épocas lluviosas.
- Construcción de carreteras sin cunetas ni cajas colectoras de aguas de escorrentía, o con 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 sin revestimiento de concreto o de coberturas vegetales densas, que eviten la profundización de su cauce, socavamiento lateral de taludes, desbordamientos y colmataciones.
- Cunetas y cajas colectoras de aguas de escorrentía sin mantenimiento periódico, o solo realizado cuando se aproximan las épocas lluviosas, dejando las cunetas desprovistas de coberturas vegetales y expuestas a los procesos erosivos por el agua (Figura 2).



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

- Socavamientos y saturación de las laderas, debido a una caída permanente de agua sin amortiguación y conducción segura de salida.
- Saturación del terreno, debido a la presencia de aguas subsuperficiales naturales, o provenientes de un tanque averiado, de tuberías de acueducto y/o alcantarillado rotas.

3. DAÑOS CAUSADOS POR LAS CÁRCAVAS

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

- Se reduce la productividad natural del terreno debido al arrastre de suelo fértil en el área afectada.
- Se ocasiona el depósito de suelos infértiles provenientes de las zonas erosionadas sobre terrenos fértiles en las partes bajas y disminución de la productividad de las áreas afectadas.
- Se reduce el área útil de los cultivos y los rendimientos por unidad de superficie, disminuyendo el valor de la tierra.
- Se origina un riesgo de caída para el ganado en pastoreo, al caminar por los bordes de las cárcavas.
- Se ocasionan socavamientos cerca de los caminos y carreteras.
- Se constituyen en las fuentes principales de sedimentos para quebradas y ríos, contribuyendo en época de lluvias a la formación de avalanchas que ocasiona inundaciones, destrucción de viviendas carreteras y la colmatación de represas para distritos de riego y centrales hidroeléctricas.
- Se aumentan los costos en el mantenimiento de equipos en distritos de riego y centrales hidroeléctricas
- Se aumentan los costos en el tratamiento del agua para el consumo humano.

4. METODOLOGÍA

En la Tabla 1 se presentan las prácticas preventivas de conservación de suelos y de

control de la erosión, más frecuentes, que se vienen realizando en los diferentes sitios de la zona cafetera.

TABLA 1. Prácticas de conservación de suelos

PREVENTIVAS	CONTROL EROSIÓN
Construcción de escalinatas en caminos con pendientes superiores al 10%	Cárcavas
Mantenimiento de cunetas de carretera dentro y fuera de la finca	Derrumbes
Siembras de barreras vivas en limoncillo	Negativos de carretera
Manejo integrado de arvenses con selección de coberturas nobles	Solifluxiones
Reparación de tuberías averiadas de acueductos	
Orientación para la protección de drenajes naturales	
Orientación para la protección de taludes	
Determinación de la vocación del uso del suelo	
Orientación para la conducción de aguas de escorrentía, aguas negras y beneficio	

Por lo general, los intentos para controlar la formación de cárcavas fracasan cuando solo se llevan a cabo soluciones parciales e inadecuadas, buscando principalmente reducir los costos y, en otros casos, por la adopción de medidas equívocas debido a la identificación incorrecta de la causa del problema (Kirby y Morgan, 1984). 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, 1984).

Lo más importante a tener en cuenta cuando se presentan problemas de cárcavas profundas, cárcavas de tipo remontante,

desestabilización de taludes y movimientos masales como las solifluxiones, es el estudio del origen del agente causal, que por lo general es el agua. En estas zonas de ladera de la zona cafetera colombiana se presenta una buena distribución de lluvias durante todo el año.

Lo esencial es observar el tipo de agua que esta originando el proceso degradativo, ya sea aguas superficiales o subsuperficiales. Cuando el problema es causado por aguas superficiales, los procesos degradativos son más sencillos de solucionar, mediante simple desviación y conducción controlada de estas, pero en el caso de las aguas subsuperficiales, o cuando se presentan ambos tipos de ellas, 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, a sacar el agente causal que en estos casos es el agua.

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

4.2. Método tradicional de control de cárcavas

Por lo general, las obras de concreto han sido consideradas tradicionalmente como el único medio de control de los problemas avanzados de degradación de los suelos por cárcavas profundas y de tipo remontante, así como los movimientos masales, negativos de carretera y la desestabilización de taludes. Los problemas más frecuentes de las zonas de ladera de la zona cafetera colombiana son consecuencia del mal uso, manejo y conservación de los suelos en las fincas y por las obras de concreto mal localizadas y, en algunos casos, inconclusas y carentes de un mantenimiento racional permanente.

Las obras en concreto utilizadas para el control de cárcavas remontantes conllevan, en su realización, a usar grandes volúmenes de cemento, hierro, piedra, gravilla, arena, además de la necesidad de profesionales especializados en este campo. Lo anterior conduce a costos elevados en el control de los procesos de degradación, los cuales se

tornan económicamente inalcanzables para los agricultores, quienes prefieren esperar que sean los organismos del Estado quienes den solución al problema, así este continúe su avance acelerado y conduzca en ocasiones a la destrucción total de la finca o de las obras de infraestructura construidas tanto aguas arriba como abajo.

4.3. Método de control de cárcavas remontantes mediante tratamientos de tipo biológico

Localización. El área del problema se encuentra ubicado en las fincas cafeteras Providencia y La Aurora, municipio de Palestina (Caldas), a una altitud de 1500 m, precipitación promedio anual de 2378 mm, temperatura promedio anual de 22.5°C, humedad relativa del 76%, suelos Unidad Chinchiná (*Typic melanudans*), con substratos de esquistos anfibolíticos y grafiticos.

Con el fin de que sea el mismo agricultor quien dé solución oportuna a sus problemas de erosión, se está investigando en el Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE) nuevas alternativas para el control de las cárcavas profundas y las de tipo remontante originadas por desestabilización de las laderas en la zona cafetera colombiana. Para ello, se vienen usando, exclusivamente, recursos propios de las fincas, especialmente la vegetación multiestrata de cada región, recurso económico importante y efectivo con que cuentan los agricultores para la recuperación de áreas con procesos de degradación avanzada y, además, 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 (1982), 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 finalidad de la vegetación es triple. En primero y segundo lugares, ofrecen al suelo una protección física frente al impacto de la lluvia y la escorrentía respectivamente y en tercer lugar reduce la velocidad del agua al aumentar la resistencia hidráulica del terreno disminuyendo, por tanto, la capacidad erosiva del agua. Si la velocidad se ha reducido lo suficiente, entonces, parte de los materiales arrastrados se sedimenta. 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 3).

En el control de este tipo de procesos degradativos se está 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 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*).



FIGURA 3. Cuneta protegida con cobertura densa de maní forrajero (*Arachis pintoi*), granja La Catalina (Pereira - Risaralda).

- 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. Con esto se logra evitar la profundización del mismo, socavamientos laterales y desplomes de los taludes.

Cuando se presentan cárcavas de tipo remontante, se deben efectuar 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 zanjías. Estas zanjías 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; éstas 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 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 a 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 hechos en guadua (*Guadua angustifolia*). Para ello se procede a cortar la guadua, en trozas de un metro de longitud que se depositan en el fondo del canal abierto y en el sentido de la pendiente; tres o cuatro trozas, una encima de la otra, son suficientes para formar un filtro, de tal forma que el agua pueda fluir libremente (Figura 4).

A partir de este primer tramo de zanja con sus filtros respectivos, se continúa haciendo ininterrumpidamente 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 (*Trichanthera gigantea*), matarratón (*Gliricidia sepium*), caña brava (*Gynerium sagittatum*) entre otros y como en el caso anterior, se conviertan luego en un bosque de galería de protección que permita el paso libre del agua y estabilización de la cárcava.



FIGURA 4. Sistema de drenaje usando filtros en guadua (*Guadua angustifolia*) y gravilla.

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 (Anaya et al., 1975) y tener una altura efectiva baja, máximo entre 0.5 m a 0.7 m, 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 (*Guadua angustifolia*) joven, menor de dos años, estacas de quiebrabarrigo o nacedero (*Trichanthera gigantea*), matarratón (*Gliricidia sepium*), caña brava (*Gynerium sagittatum*) y sauce (*Salix spp*) entre otros, con diámetro mayor de 5 cm y longitud de 0.5 a 1.0 m, para que rebroten fácilmente y

se conviertan igualmente en estructuras vivas multiestratas, permanentes que amarren el terreno.

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

Finalmente, para ayudar a la estabilización del terreno se debe sembrar toda el área de captación de la cárcava con vegetación multiestrata, de rápido crecimiento, existente en la zona del problema: pastos Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), Yaraguá (*Melinis minutiflora*), Argentina (*Cynodon dactylon*), Estrella (*Cynodon plectostachyus*), Puntero (*Hyparrhenia rufa*), India o Guinea (*Panicum maximum*); leguminosas tales como Kudzú tropical (*Pueraria phaseoloides*), Añil rastrero (*Indigofera spicata*), Maní forrajero (*Arachis pintoi*); árboles y arbustos de fácil propagación vegetativa y por semilla, tales como estacas de quebrabarrigo o nacedero (*Trichanthera gigantea*), sauce (*Salix spp*), matarratón (*Gliricidia sepium*), caña brava (*Gynerium sagittatum*), guadua (*Guadua angustifolia*), guaduilla (*Phyllostachis aureus*) y leucaena (*Leucaena leucocephala*), entre otros (Rivera y Gómez, 1992).

Se debe hacer seguimiento permanente de las obras establecidas, especialmente en las épocas lluviosas, después de cada aguacero intenso para su rectificación oportuna y permanente sellamiento de grietas.

5. RESULTADOS EN EL CONTROL DE UNA CÁRCAVA DE TIPO REMONTANTE.

Se logró la estabilización de una cárcava remontante en las fincas Providencia y La Aurora en corto tiempo (3 meses) y su recuperación total en 1 a 3 años, a costo bajo en relación con las obras de concreto.

Los resultados de recuperación se observan teniendo como indicativo, el crecimiento inmediato de la vegetación espontánea y el posterior rebrote y establecimiento de los materiales vegetales utilizados en la construcción de trinchos escalonados como estructuras disipadoras de energía y los materiales sembrados en el resto del área.

En la Tabla 2 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 los materiales de mayor rebrote por estacas son el nacedero o quebrabarrigo (*Trichanthera gigantea*), con un porcentaje del 90% y un crecimiento de 2.10 m promedio luego de diez meses de establecidas las obras de control de erosión en el campo. En segundo lugar se encontró el matarratón (*Gliricidia sepium*), con un porcentaje de rebrote del 50% y crecimiento de 0.5 m promedio, luego de diez meses de establecidas las obras de control de erosión en el campo. La guadua (*Guadua angustifolia*), presenta tan solo un 9% promedio. No obstante este bajo porcentaje de rebrote, la guadua logra un buen establecimiento, dando lugar a un guadual que, en mezcla con los otros materiales establecidos, conforma una población multiestrata de gran capacidad de anclaje y estabilización. Las estacas vegetales que mejor rebrotan son aquellas con un diámetro superior a 5 cm.

TABLA 2. Desarrollo biológico del material vegetativo sembrado por estacas, usado en prácticas de control de erosión (Rivera, 1992).

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>Gliricidia sepium</i> (Matarratón)	1	70	2
	2	90	8
	3	50	50
<i>Gynerium sagittatum</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	

En la Figura 5 se observa la cárcava de tipo remontante, de aproximadamente 1.5 hectáreas, formada en las fincas contiguas Providencia y La Aurora. En los períodos lluviosos, ésta cárcava daba lugar a la presencia de avalanchas de lodo y piedra que taponaban frecuentemente la carretera que conduce del municipio de Chinchiná - Caldas al municipio de Palestina - Caldas.

A partir de Julio de 1991, la Disciplina de Conservación de suelos del Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFÉ), luego de efectuar el respectivo diagnóstico y determinar la relación causa efecto del problema, inició una estrategia de control de la cárcava, mediante evacuación de las aguas de escorrentia y subsuperficiales (Figura 6). Con estos trabajos preliminares se contrarrestaron los problemas de avalanchas en la carretera en forma inmediata.

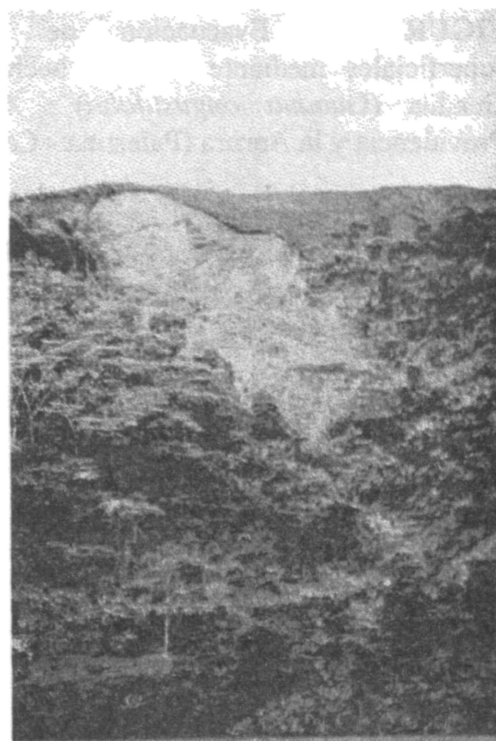


FIGURA 5. Cárcava remontante en fincas Providencia y La Aurora, Palestina, Caldas. Unidad Chinchiná (*Typic melamudans*), vista de frente (enero, 1991).



FIGURA 6. Evacuación de aguas superficiales mediante trinchos hechos en Guadua (*Guadua angustifolia*). Fincas Providencia y la Aurora (Palestina - Caldas).

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 7 y 8) (Rivera, 1992). Los costos invertidos en los tratamientos fueron solo 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 hoy día a \$3.077480.

A la fecha, el área se encuentra totalmente recuperada y cubierta de vegetación multiestrata en un 99% (Figura 9).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En el control de cárcavas remontantes en la zona cafetera colombiana es más eficiente implementar prácticas de drenaje que muros en concreto.
- Los trinchos escalonados deben cumplir la función de disipadores de energía y no de retenedores de sedimentos, ni de estructuras fuertes capaces de contrarrestar movimientos masales.
- El mayor éxito en el control de cárcavas se logra complementando los drenajes con poblaciones vegetales multiestrata de la misma región.
- El nacedero o quiebrabarrigo (*Trichanthera gigantea*), es la planta de mayor porcentaje de reproducción por estacas.

REFERENCIAS

1. ANAYA, G.M., et al. Manual de conservación de suelos y del agua. Chapingo, México: Colegio de Postgraduados, 1977. 581 p.
2. CENICAFÉ, CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ, FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Manual de conservación de suelos de ladera. Primera edición, Chinchiná: CENICAFE, 1994. 267 p.
3. FLOREZ, A. Geomorfología del área de Manizales Chinchiná, Cordillera Central, Colombia. Tesis Ph.D., Universidad Van Amsterdam. Amsterdam (Holanda), 1986. 159 p.



FIGURA 7. Cárcava remontante en fincas Providencia y la Aurora en Palestina Caldas. Unidad Chinchiná (*Typic melamudans*). Construcción de trinchos escalonados, vista de arriba hacia abajo (septiembre 1991).



FIGURA 8. Recuperación de cárcava remontante en fincas Providencia y La Aurora en Palestina, Caldas. Unidad Chinchiná (*Typic melamudans*). Vista de arriba hacia abajo (octubre de 1994).



FIGURA 9. Recuperación total de cárcava remontante en fincas Providencia y la Aurora en Palestina, Caldas. Unidad Chinchiná (*Typic melanudans*). Vista de arriba hacia abajo (mayo de 1997).

4. **HUDSON, N.** Conservación de suelos. Barcelona (España): Reverté S.A, 1982. 335 p.
5. **HUDSON, N.** Soil Conservation, Third edition. Iowa State United States: University Press, 1995. 391 p.
6. **KIRBY, M.J., MORGAN, R.P.C.** Erosión de suelos. 1ª edición. México: Limusa S.A, 1984. 367 p.
7. **RIVERA P., H.** Informe anual de labores 1990-1991. Chinchiná: Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE), Disciplina de Conservación de suelos, 1991. 69 p.
8. **RIVERA P., H., GOMEZ, A.A.** El sombrero de los cafetales protege los suelos de la erosión. En: Avances Técnicos CENICAFE, NI 177. Chinchiná, Colombia, 1992. 8 p.
9. **RIVERA P., H.** Informe anual de labores 1991-1992, Disciplina de Conservación de suelos. Chinchiná: Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE), 1992. 42 p.
10. **RIVERA P., H.** Informe anual de labores 1992 – 1993, Disciplina de Conservación de suelos. Chinchiná: Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE), 1993. 35 p.
11. **RIVERA P., H.** Informe anual de labores 1993 – 1994, Disciplina de Conservación de suelos. Chinchiná: Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE), 1994. 27 p.
12. **RIVERA P., H.** Informe anual de labores 1995 – 1996. Disciplina de Conservación de suelos. Chinchiná: Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE), 1996. 33 p.
13. **RIVERA P., H.** Por qué no se debe usar el azadón como herramienta de desyerba en sus cafetales. En: Avances Técnicos, CENICAFE, N 233. Chinchiná, Colombia, 1996. 4 p.

