

# **ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL Y MANEJO DE LA EROSIÓN EN CÁRCAVAS**

Por: Juan Diego León Peláez<sup>1</sup>

## **RESUMEN**

Se propone un programa para control y manejo de la erosión en cárcavas, haciendo énfasis, desde la perspectiva técnica, en aquellos tratamientos catalogados genéricamente como bioingeniería. La revisión pretende, de manera sintética, aportar información útil a técnicos y profesionales involucrados en la gestión del territorio y de sus recursos naturales, para la toma de decisiones relativas al control de la erosión en cárcavas.

## **PALABRAS CLAVE**

Erosión en cárcavas, surcos, cubierta superficial, escorrentía, manejo del suelo, erodabilidad del suelo, erosión por salpicadura

## **STRATEGIES FOR CONTROL AND MANAGEMENT OF GULLY EROSION**

## **ABSTRACT**

A program for control and management of gully erosion is proposed which emphasizes technical aspects of those treatments generally categorized as bio-engineered.. This review attempts to synthetically provide useful information for technicians and professionals involved in land use and natural resource management when making decisions related to gully erosion control

## **KEYWORDS**

Gully erosion, furrows, ground cover, runoff, soil management, soil erodibility, splash erosion

---

<sup>1</sup> Profesor Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. A.A. 1779

## 1. INTRODUCCIÓN

La erosión, entendida no como un proceso de formación del paisaje, sino mejor como resultado de la intervención humana del territorio, con diferentes finalidades, ha adquirido con el paso del tiempo una magnitud tal, que hoy día se le considera uno de los principales problemas ambientales a nivel global, asociado, en gran medida, a la deforestación. Así, en América del Sur (PNUMA, 2000), casi 250 millones de hectáreas de terreno se encuentran afectadas por la degradación del suelo, siendo la erosión la principal amenaza con 68% del terreno afectado; unos 100 millones de hectáreas se han degradado como consecuencia de la deforestación, en tanto que unos 70 millones de hectáreas se han visto sometidas a procesos de pastoreo intensivo.

Además de la deforestación y la aplicación directa de la tierra a sistemas de cultivo y pastoreo, ciertos proyectos de desarrollo –construcción de carreteras, aeropuertos, y embalses para generación hidroeléctrica, entre otros- han con frecuencia contribuido al desarrollo de procesos erosivos. No pueden ser subestimadas, además, las repercusiones que han tenido en la generación del fenómeno, actividades consideradas tradicionalmente como artesanales, caso de la minería de superficie, cuya manera particularmente deletérea de intervenir el terreno, genera importantes áreas para desprendimiento y arrastre de materiales.

La aparición de la erosión en cárcavas, guarda en gran medida relación con tales prácticas inadecuadas de utilización de la tierra. Este es el caso de la disposición inapropiada del material proveniente de cortes de terreno, en diferentes tipos de construcciones civiles y minería, quedando aquél a merced del agua lluvia. Asimismo, tiene relación con la generación de surcos en campos de cultivo y caminaderos de ganado en pastizales, los cuales, favorecidos por la acción de la lluvia y concentración de

flujos, tienden a profundizarse, y con el tiempo, ser precursores de esta manifestación erosiva.

La erosión en cárcavas es una de las expresiones de la erosión superficial, y ocupa, dentro de ésta, el nivel máximo de manifestación, precedida por la erosión en forma de salpicadura, laminar y en surcos; así, surge generalmente luego de la erosión laminar y la erosión en surcos, al aumentar el volumen de escorrentía o su velocidad. Suele ser producto del descuido en la aplicación de medidas protectoras cuando se tienen formas incipientes de erosión, pudiéndose alcanzar estados de gran avance y desarrollo, de difícil control posterior.

Este tipo de erosión reviste especial atención, entre otras, por las siguientes razones: difícil y costoso control si no se acometen acciones a tiempo; elevadas pérdidas de suelo y contaminación de cuerpos de agua; afectación negativa al recurso paisajístico; y pérdida de capacidad productiva de las tierras, y con ello dificultades económicas para los dependientes de ellas. Para su corrección y control, han sido diseñados tratamientos integrales que combinan obras hidráulicas y estructuras mecánicas, acompañadas de tratamientos biológicos, buscándose así controlar el accionar de los principales agentes erosivos, y restaurar las condiciones propicias para la colonización vegetal.

Dado que la implementación de obras para el control de la erosión en cárcavas es costosa, deben ser el entendimiento del fenómeno, y los principios orientadores de obras ya construidas y de exitoso funcionamiento, los que guíen el diseño y construcción de modelos semejantes, de menor costo, que puedan ser financiados con los recursos limitados de que disponen las entidades territoriales y las corporaciones autónomas regionales (CAR's) en el país, en desarrollo de sus funciones en materia de gestión ambiental. A continuación se esboza un programa genérico para el control y manejo de cárcavas, si bien se acepta que es sobre la base del estudio de caso, que debe considerarse la conveniencia de adoptar unas u otras de las estrategias y medidas de

actuación allí propuestas. El programa recoge en mayor medida, los resultados de experiencias que en la materia, han sido desarrolladas en Colombia, y pretende particularmente, compilar de manera sintética, aquellos tratamientos que han sido catalogados genéricamente como bioingeniería.

El énfasis de la descripción es técnico, aportando en forma paralela una visión crítica, que sirva a técnicos y profesionales relacionados con la gestión del recurso suelo – ordenamiento territorial- y en general, con la gestión ambiental, en la toma de decisiones para el control de esta forma erosiva.

## **2. PROGRAMA DE CONTROL DE CARCAVAS**

Cuando las manifestaciones del fenómeno erosivo son de baja magnitud, o bien cuando su diagnóstico se hace de manera temprana, pueden ser empleadas en su control medidas que no demandan ingentes esfuerzos económicos. Es éste el caso de la implementación de prácticas menores de conservación de suelos, que integran sencillas técnicas de intervención del terreno, atendiendo adecuadamente los agentes erosivos y los parámetros que imparten resistencia al mismo frente a la erosión. Así, la conservación de suelos, si se concentra sobre los efectos producidos por el agua, puede ser desarrollada mediante tres controles (Fournier, 1975): control del suelo, control de la vegetación, y control del agua.

Sin embargo, en ocasiones, puede ser el fenómeno erosivo de una magnitud o encontrarse en un estado de desarrollo tales, que sea necesario hacer un tratamiento correctivo de mayores demandas; es éste el caso de áreas degradadas por procesos de carcavamiento, donde no será suficiente la incorporación de material vegetal dada la escasa oferta edáfica, sino que además deberán ser consideradas otras variables, cuya omisión en un programa de recuperación, puede conllevar el fracaso. Para ello, se desarrolla la exposición del Programa de Control, a partir de seis apartados temáticos,

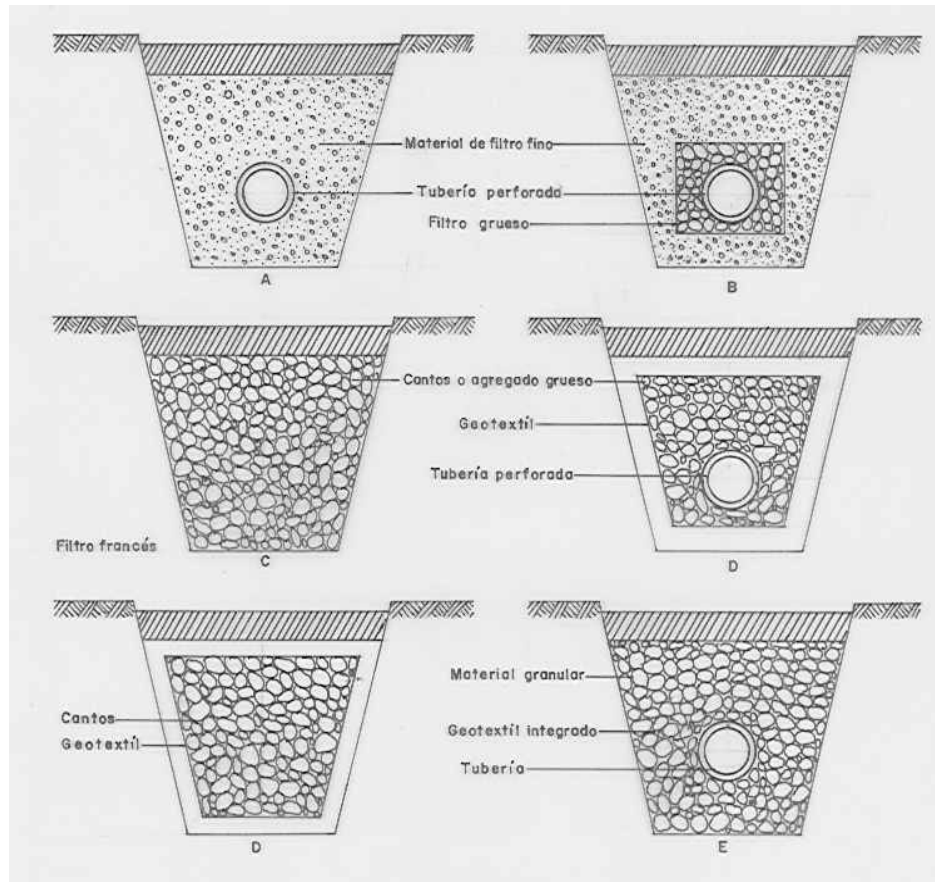
intentando incorporar así, de manera integral y articulada, las variables que participan en el proceso erosivo, según arreglo a estrategias de intervención: aislamiento físico, control del agua subsuperficial, control del agua de escorrentía, remodelo del terreno, construcción de obras transversales, e incorporación de material vegetal.

## **2.1 AISLAMIENTO FÍSICO.**

Tiene por objeto evitar el acceso al área tratada, de agentes cuya presencia pudiera resultar contraproducente para los fines perseguidos, caso del ganado para el material vegetal que se introduzca. Es común el empleo de cercos en alambre de púas, con estacones de 3 a 4 pulgadas de diámetro y 2,20-2,40 m de longitud, preferiblemente inmunizados y enterrados 50 cm, previo esparcimiento de brea o algún otro impermeabilizante en la porción en contacto directo con el suelo. El predio deberá superar la anchura de la cárcava, de forma que, por ejemplo, si ésta tiene 3 m de profundidad, la distancia del alambrado al borde más próximo deberá ser de 6 a 7,5 m, siendo conveniente una distancia mayor con respecto a su cabecera (SCS, 1973).

## **2.2 CONTROL DEL AGUA SUBSUPERFICIAL.**

Busca controlar la presión producida por las aguas subsuperficiales y regular las fluctuaciones del nivel freático, brindando estabilidad y garantizando la permanencia de las obras que se adelanten en la superficie del terreno, así como mejorando la aireación del suelo en favor de las coberturas vegetales; este control se hace a través de filtros o subdrenes interceptores, consistentes en zanjas rellenas de material filtrante y elementos de captación y transporte de agua. Existen diferentes tipos (Suárez, 1992): con material de filtro y tubo colector; con material grueso permeable sin tubo (filtro francés); con geotextil como filtro, material grueso y tubo colector; con geotextil, material grueso y sin tubo; y tubo con capa gruesa de geotextil alrededor (Figura 1).



**Figura 1.** Tipos de subdrenes interceptores (Adaptado de Suárez, 1992)

La elección del tipo de dren interceptor, estará en función del presupuesto y materiales disponibles, así como de las necesidades de captación y caudal del dren; dentro de las limitaciones e implicaciones en su manejo (Suárez, 1989), se destaca la tendencia al taponamiento, producto del transporte y deposición de las partículas más finas del suelo, razón por la cual debe ser muy cuidadosamente escogido el material de filtro, y el tipo y calidad de geotextil a utilizar. Es asimismo necesario prestar especial atención a las plantas, ya que invaden los drenes, al taponar los orificios de drenaje.

El sellado de grietas es otra actividad de gran importancia, en la búsqueda del control del agua y estabilidad del terreno; con ella se previene la penetración del agua a través de grietas existentes en la superficie del terreno, y su posterior contacto con el subsuelo, lo

cual favorecería eventualmente la ocurrencia de derrumbes en cercanías a las cabeceras de las cárcavas. El sellado de grietas se hace (Escobar, 1989) mediante la excavación de zanjas de 0,30 por 0,40 m a lo largo de ellas, rellenas y compactadas a continuación con un suelo arcilloso o limo-arcilloso; si bien implica una mayor inversión, puede ser además empleada cal como agente cementante.

### **2.3 CONTROL DEL AGUA DE ESCORRENTÍA.**

La desviación del escurrimiento de la cabecera de la cárcava, es fundamental para el control de su crecimiento; la forma más común de controlar el agua de escorrentía ha sido mediante la construcción de estructuras de captación llamadas zanjas, canalículos o acequias, que cortan el recorrido del flujo de agua sobre el terreno, disponiéndolo más rápidamente y en forma adecuada, a un canal natural u otra estructura receptora sin que se produzca erosión. La estructura más común es la zanja de coronación o canal de corona, la cual se dispone en la parte superior a una distancia prudencial; debe estar impermeabilizada y verter sus aguas a un canal principal, el cual, en condiciones de alta pendiente, se acompaña de estructuras que disipan la energía alcanzada por las aguas en su recorrido, caso de pantallas deflectoras, canales escalonados o enrocados.

Algunas técnicas propias a la captura y canalización de aguas en laderas, y aplicadas a actividades productivas de tipo agrícola, son empleadas para el manejo de aguas superficiales en la corrección de cárcavas; dentro de éstas se tienen (Moder, 1983a) los surcos profundos, los surcos en curvas de nivel, y el aterrazado continuo de nivel.

**2.3.1 Surcos profundos.** Son recomendados para suelos con buen drenaje. Consisten en surcos conformados en curvas de nivel, hasta de 35 cm de profundidad, separados 1,5 m unos de otros; son localizados en el contorno de la cabecera de la cárcava, a una distancia mínima igual a la profundidad de ella, pudiendo ser sembradas especies vegetales en el camellón.

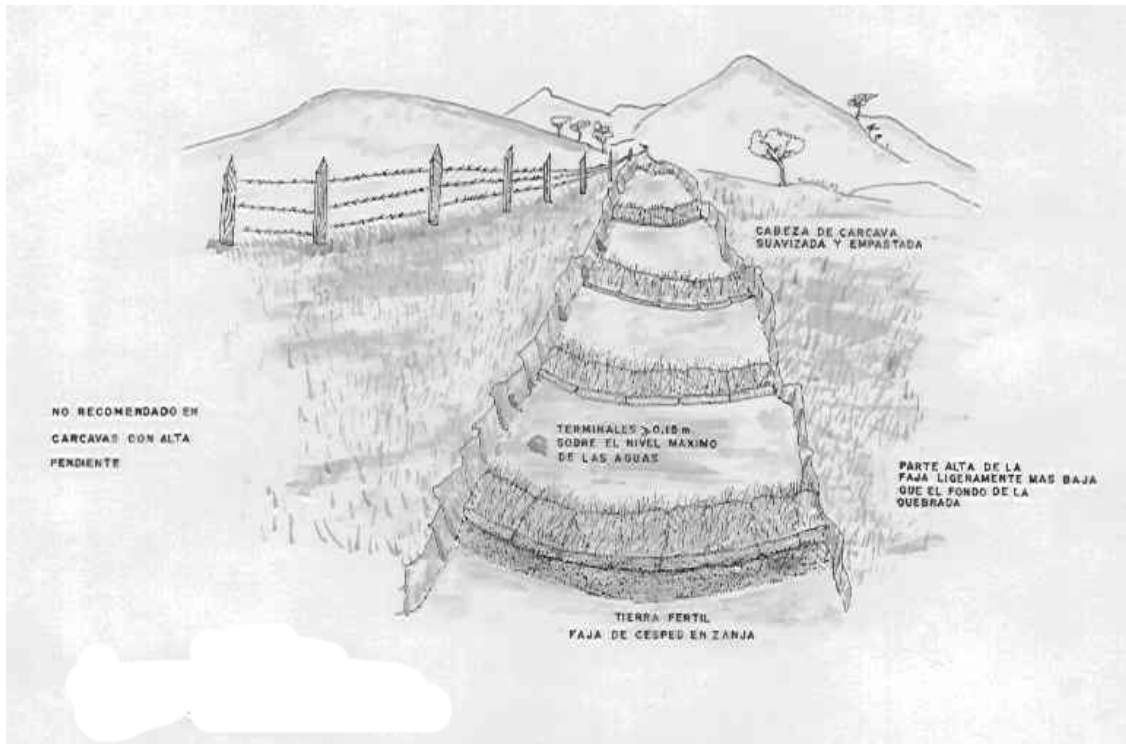
**2.3.2 Surcos en curvas de nivel.** Semejantes a los anteriores pero de profundidades entre 18 y 25 cm, pudiendo ser también localizados al interior de la cárcava, y su camellón plantado con una especie forestal.

**2.3.3 Aterrazado continuo de nivel.** Consiste en la conformación de niveles de terraza, no siendo recomendable cuando las condiciones de pendiente son superiores al 30%, caso extremo para el cual el nivel de terraza o parte plana alcanza los 60 cm, y su pared o altura vertical los 20 cm. Su construcción es manual y se reportan rendimientos de 50 m<sup>2</sup> jornal<sup>-1</sup> incluyendo preparación de la sección horizontal para la siembra y fertilización, y colocación de material protector. Una de sus principales desventajas es que cuando se tienen altas concentraciones de agua, éstas tienden a buscar la salida por las paredes verticales de las terrazas conformadas, especialmente cuando no ha sido incluido en el diseño de las paredes horizontales, un ligero desnivel hacia su interior, acompañado de una estructura de conducción y evacuación de aguas.

Por otra parte, existen técnicas de común utilización, que incorporan en forma expresa la vegetación, y que sirven asimismo a los propósitos del control del escurrimiento, favoreciendo, además, la retención de sedimentos y el cubrimiento vegetal; estas técnicas son útiles en la estabilización de cárcavas pequeñas, y entre ellas se cuentan las fajas de césped, los terraplenes de tierra con césped, y la técnica conocida como coctel de semillas.

**2.3.4 Fajas de césped.** Consisten en vallas de matas dispuestas a través de la corriente, en cárcavas pequeñas o medianas asociadas a cuencas de poca extensión (Figura 2); los distanciamientos entre matas son de 10 a 15 cm, en surcos poco profundos, protegidos en ocasiones con hileras de estacas colocadas unos 30 cm más abajo de las matas; su empleo se limita a cárcavas de pendiente suave (SCS, 1973). Se reportan (Moder, 1983a) fajas de 30 cm de ancho, localizadas cuando menos 15 cm sobre el nivel más alto del agua, y espaciamientos de 1,5-2,1 m entre ellas.



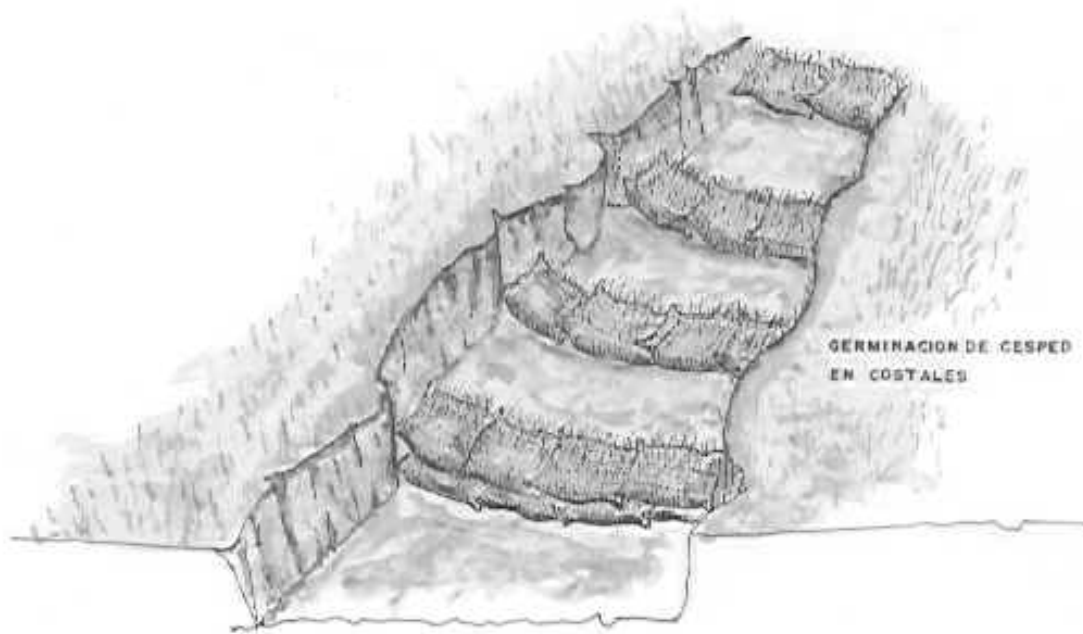


**Figura 2.** Fajas de césped (Adaptado de SCS, 1973)

**2.3.5 Terraplenes de tierra con césped.** Son montículos de tierra debidamente compactados, y colocados de tal forma que el extremo superior de uno -en distancia horizontal- queda en contacto con la base del inmediatamente superior. Los taludes del terraplén son comúnmente 3:1 corriente arriba y 4:1 corriente abajo, y debe ser más bajo en la parte central, e irse levantando hacia las orillas; sobre su parte superior es colocado césped.

**2.3.6 Barrera de costales.** Esta técnica -conocida también como “coctel de semillas”- es de amplia utilización en la estabilización de cárcavas, y consiste en la disposición de sacos o costales abonados, y adicionados de una mezcla de semillas de diferentes especies vegetales, sobre terrazas individuales o niveles de terraza previamente conformados; son empleados los llamados costales paneleros de fique, los cuales se rellenan con material de la cárcava, con tierra negra, abono químico y orgánico y si es

necesario, con cal. A esta mezcla se adicionan semillas y estolones de varias especies de pastos, así como semillas de especies arbustivas y arbóreas. Posteriormente se cierran los costales, y se clavan al terreno con estacas vivas de especies con reconocida capacidad de propagación vegetativa; la última hilera de costales puede ser doble (Figura 3).



**Figura 3.** Barrera de costales (última hilera doble) (Adaptado de Moder, 1983a)

#### **2.4 REMOLDEO DEL TERRENO.**

Consiste en la suavización de la pendiente del terreno, para disminuir el efecto negativo que tienen valores altos de ella, en el establecimiento de coberturas vegetales, así como para reducir los efectos de la lluvia en condiciones excesivas de inclinación topográfica. Al primer respecto, se ha encontrado (Moder, 1983a) que las condiciones óptimas de pendiente para el adecuado establecimiento y desarrollo de la vegetación son del 120% o 50° sexagesimales máximo. Esta labor se vale de herramientas manuales para el laboreo de la tierra, teniéndose rendimientos del orden de 40 m<sup>3</sup> jornal<sup>-1</sup>; el remoldeo o “peinado”

de taludes, se hace cuando las características de la cárcava no permiten la conformación de terrazas, así como también por motivaciones económicas.

## **2.5 CONSTRUCCIÓN DE OBRAS TRANSVERSALES.**

Si bien se han descrito algunos trabajos correctivos de carácter transversal en su disposición sobre el terreno -en sentido perpendicular al eje principal de la cárcava o línea de flujo- se ha querido agrupar bajo esta denominación, aquellas técnicas que además de controlar el movimiento del agua en superficie, buscan, de forma clara, la generación de un proceso de sedimentación. De acuerdo con esto, su finalidad principal es retener los sedimentos producto del desgaste del suelo, que provienen de la parte superior o ladera arriba, y suavizar la pendiente en el fondo de la cárcava; gracias a esto se produce una colmatación que, o bien es aprovechada por la vegetación para la colonización, o es ésta inducida mediante diferentes técnicas de repoblamiento vegetal.

Algunos autores (Fournier, 1975; SCS, 1973) las consideran obras complementarias en el sentido de que apoyan las actividades de remodelado de la pendiente y de establecimiento de coberturas vegetales, contribuyendo en la disipación de la energía hídrica. De acuerdo con su durabilidad, las obras transversales pueden ser diferenciadas en temporales y permanentes; si el escurrimiento en la cárcava no excede a la cantidad que es posible contener por medio de una vegetación bien establecida, pueden ser empleadas las primeras. En su construcción suelen utilizarse materiales como ramas, postes o estacones, alambre y piedra suelta (SCS, 1973); la vida útil de estas estructuras varía entre 2 y 8 años (Moder, 1983b), y pueden ser empleados en su construcción - además de los materiales citados- paja, madera y guadua.

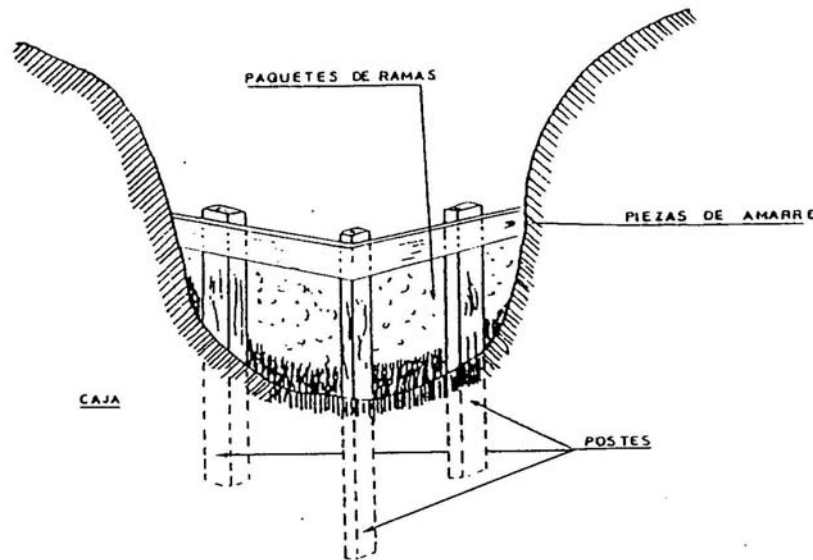
La finalidad de las estructuras temporales, es proporcionar protección para dar tiempo a que crezca la vegetación; si lo que se busca es reducir la velocidad del agua y favorecer

la deposición de sedimentos, no son necesarias grandes estructuras que embalsen el agua, sino más bien otras definidas como “presas porosas” (Hudson, 1982).

Por otra parte, las estructuras de tipo permanente tienen una duración mucho mayor; son construidas en concreto, cemento y otros tipos de materiales, y por contrapartida, son más costosas. La implementación de estructuras permanentes, es conveniente cuando las de carácter temporal, no resisten físicamente la dinámica propia del fenómeno que se trata de corregir, o cuando existen de por medio amenazas a vidas humanas, a construcciones costosas, o a recursos del medio ambiente, cuyo deterioro pueda afectar directamente a comunidades humanas.

Se destacan dentro del grupo de obras temporales, los diques o presas, que sirven a los propósitos ya descritos; algunas consideraciones técnicas expuestas por SCS (1973) sugieren la conveniencia de que la altura del vertedero en estas obras no supere los 45 cm, y que dispongan de un batiente o “delantal”, que disminuya el efecto socavante del agua que descarga el vertedero; de la experiencia proveniente de programas de control de erosión en cárcavas, se concluye a favor del empleo de series de pequeños diques, en lugar de uno solo de altura equivalente. A continuación se describen algunos modelos de carácter temporal, dado que son ellos los que configuran el alcance del tratamiento temático en desarrollo.

**2.5.1 Barrera de paja y ramas.** Usada en cárcavas estrechas y profundas; su construcción comienza con la colocación de tres postes o estacones en forma de “V”, con su vértice en dirección corriente abajo; el poste central debe ir más abajo que los demás para guiar el exceso de agua evitando así socavaciones laterales, siendo utilizados tabloncillos como piezas de amarre entre estacones (Figura 4). El fondo de la zanja se cubre con una capa de paja bien apisonada y extendida, y se colocan manojos de ramas con la parte ramosa corriente abajo y sus extremos atados a los postes; la altura recomendada para esta estructura es de 45 cm (Moder, 1983b).

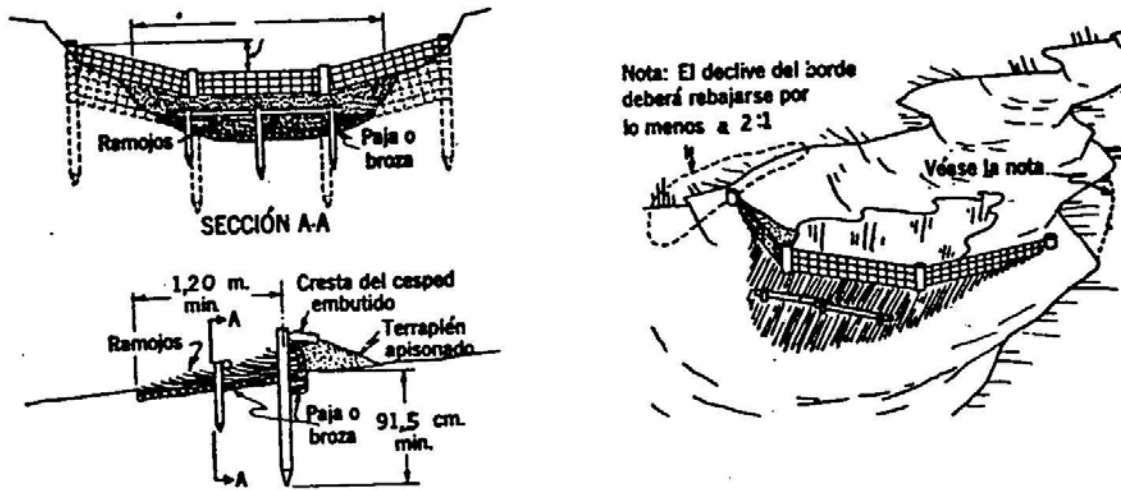


**Figura 4.** Barrera de paja y ramas (Moder, 1983b)

**2.5.2 Represa de alambre (Presa de alambrado).** Esta técnica consiste de hileras de postes o estacones enterrados un metro en el suelo y separados 1,20 m uno de otro; tales hileras se disponen transversales al eje de la cárcava, estando los estacones interiores amarrados a otros exteriores a una distancia de 2,40 a 3,0 m. Los estacones localizados dentro de la cárcava, se disponen en forma tal que el agua escurra por la parte central de la estructura, y deben ser clavados en forma oblicua. La malla utilizada debe enterrarse mínimo 20 cm, tanto en el fondo como en las paredes laterales de la cárcava, y su altura puede ser de 90 cm; se recomienda colocar ramas delgadas y piedras por delante de la represa con el fin de detener la tierra que escurre (Moder, 1983b).

Otro tipo de represa de malla es construido en forma semicircular con su parte cóncava mirando corriente arriba (Moder, 1983b; SCS, 1973), obteniéndose un vertedero largo y protegiéndose así los extremos (Figura 5); se recomienda en el diseño de la curvatura hacer un arco con  $1/6$  más del ancho de la cárcava, localizando sobre la curva así definida, postes distanciados 1,20 m y enterrados de 60 a 80 cm, y procurando que uno

de los espacios de intervalo entre postes quede hacia el centro de la cárcava; la malla debe ir clavada a los postes por el lado de arriba y enterrada cuando menos unos 15 cm (Moder, 1983b).



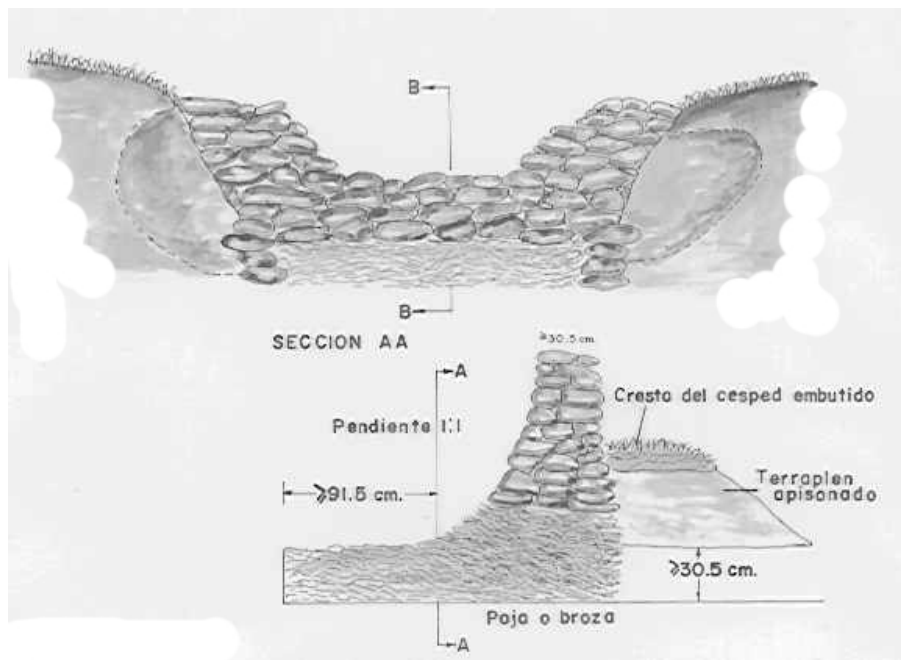
**Figura 5.** Represa de malla (Semicircular cóncava) (SCS, 1973)

En el caso de ser empleados en los “delantales” materiales como ramas, piedras u otros similares, se recomienda (Moder, 1983b) la disposición de una segunda corrida de postes con varas horizontales amarradas que ayuden a sujetar dichos materiales en el fondo; las ramas deben quedar colocadas como mínimo a 1,20 m del vertedero y a 60 cm a los lados de los postes que lo forman. Asimismo se recomienda para facilitar la colmatación de sedimentos, conformar un relleno artificial compuesto por paja, estiércol, ramas picadas y tierra de pendiente 2:1 sobre el cual se pone césped.

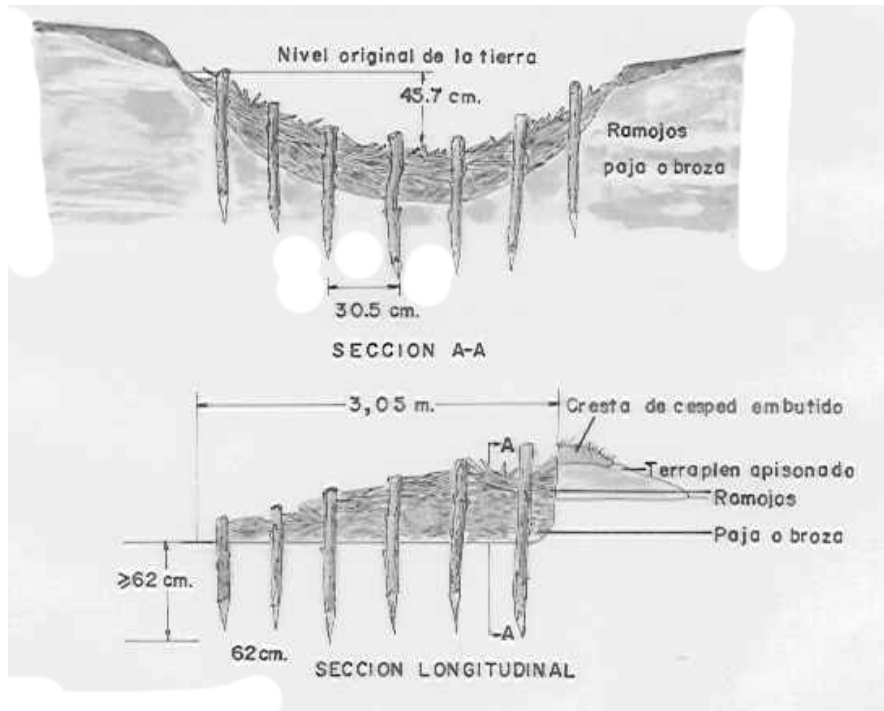
**2.5.3 Represa de rocas.** Es muy atractiva por su bajo costo en aquellos sitios donde la piedra es abundante y cercana, siendo su mayor utilidad en zanjas de moderada pendiente y áreas de drenaje pequeñas; su ventaja sobre presas hechas en otros materiales como madera, ramas y alambre, estriba en su mayor resistencia y durabilidad, así como se indican además ventajas relativas a su flexibilidad y peso, pudiendo

permanecer en contacto permanente con el lecho de la cárcava (SCS, 1973). Se reportan dimensiones de 90 cm de altura, 1.50 m de ancho en su base inferior y 60 cm de ancho en su parte superior; se construye bien extendida hacia las orillas de la cárcava y las piedras del fondo se colocan en un surco no inferior a los 15 cm de profundidad (Moder, 1983b). Las piedras del fondo y de los lados de la estructura deben ser de mayores dimensiones que las que componen su parte central; en la Figura 6 se presenta un modelo de represa de rocas propuesto por SCS (1973).

**2.5.4 Represa de ramas.** Consiste en una doble corrida de estacas por entre las cuales se colocan ramas quedando un poco por delante de aquellas. Las ramas son sujetadas con alambre que se amarra entre estacas, pudiendo ser en el fondo colocados paja u otro retenedor fino (Moder, 1983b). Su empleo (SCS, 1973) se restringe a cárcavas asociadas a pequeñas cuencas de drenaje, siendo su principal atractivo un bajo costo económico y facilidad en su construcción; un modelo de represa de ramas (SCS, 1973) se presenta en la Figura 7.



**Figura 6.** Represa de rocas (Adaptado de SCS, 1973)



**Figura 7.** Represa de ramas (Adaptado de SCS, 1973)

**2.5.5 Represa de piedras y estacas.** Estructura de fácil construcción que consiste en dobles corridas de estacas clavadas en el suelo y amarradas con alambre, entre las cuales son colocadas piedras (Moder, 1983b).

Para el tratamiento de cárcavas de mayor profundidad y/o asociadas a cuencas de drenaje de mayor tamaño, son empleadas estructuras asimismo de carácter transversal como las que hasta aquí han sido descritas, pero de mayores dimensiones, conforme los volúmenes de escurrimiento y carga de sedimentos que van a ser controlados, lo demandan. A continuación se describen las más comúnmente empleadas.

**2.5.6 Diques de madera o de troncos.** Son estructuras transversales al eje de la cárcava compuestas por postes o estacones enterrados en el suelo (elementos verticales) y varas transversales empotradas lateralmente (elementos de amarre de la estructura); se utilizan en cárcavas de mayores dimensiones, y se recomienda que su ancho efectivo no sea superior a 4,9 m, y su altura efectiva no supere los dos metros. Como mínimo la



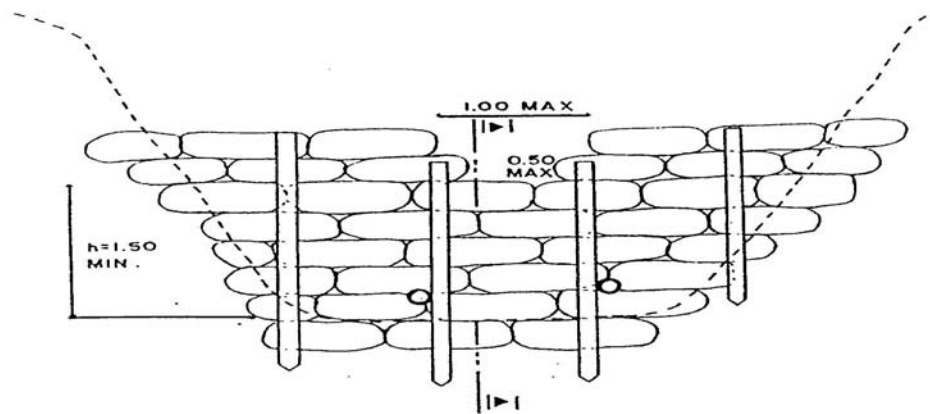
pared del dique debe sobresalir 50-70 cm para cumplir adecuadamente con la función de retener sedimentos, y al igual que las demás estructuras, debe contar con un vertedero (Moder, 1983b).

Para sus fundamentos verticales y horizontales se recomienda que el vertical sea  $\frac{3}{4}$  del alto efectivo y el lateral a cada lado de  $\frac{1}{3}$  del ancho efectivo; para esta estructura se recomienda asimismo el acompañamiento de delantales de piedras, troncos, ramas u otro material apropiado para este fin, anotándose una longitud deseable de dos veces el alto de caída, y que sobresalgan 60 cm a lado y lado del vertedero. Su estima conveniente su construcción en caso de disponerse de madera o poder acceder a ella a bajos costos. Una variante de esta técnica es el dique de boble pared (Moder, 1983b), consistente en dos paredes de varas transversales, entre las cuales se dispone tierra y paja; su principal ventaja -a pesar de su mayor costo- es que ofrece una mayor resistencia a la acción de la escorrentía y de las aguas saturadas, razón por lo cual se localiza en las partes bajas.

**2.5.7 Diques de sacos.** En años relativamente recientes, ha ido ganando importancia en el control no sólo de cárcavas, sino, además, en el de otras expresiones del fenómeno erosivo, el empleo de sacos de polipropileno rellenos de material; con éstos se conforman, entre otros, pantallas de protección en áreas ribereñas de cursos de agua, diferentes tipos de revestimientos, y para el caso que aquí ocupa, diques de sacos. El material de relleno es usualmente la misma tierra del sitio, o en ocasiones la mezcla de ésta con cemento, razón por la cual se ha popularizado bajo el nombre de bolsacreto. Se destacan dentro del grupo de obras mencionado los diques en material cárcava y en suelo cemento.

**2.5.7.1 Diques en material cárcava.** Son estructuras transversales consistente en sacos de polipropileno, rellenos con material cárcava hasta sus  $\frac{2}{3}$  partes, cosidos con fibra acrílica; la estructura alcanza alturas hasta de 1,5 m, y se acompaña de estacones de 4 pulg de diámetro y 2,10 m de longitud como elementos verticales. Hacia su parte

inferior se localizan mangueras de polietileno o tubería de PVC de 2 y 4 pulg respectivamente -ambas perforadas- que hacen las veces de drenes (Figura 8).

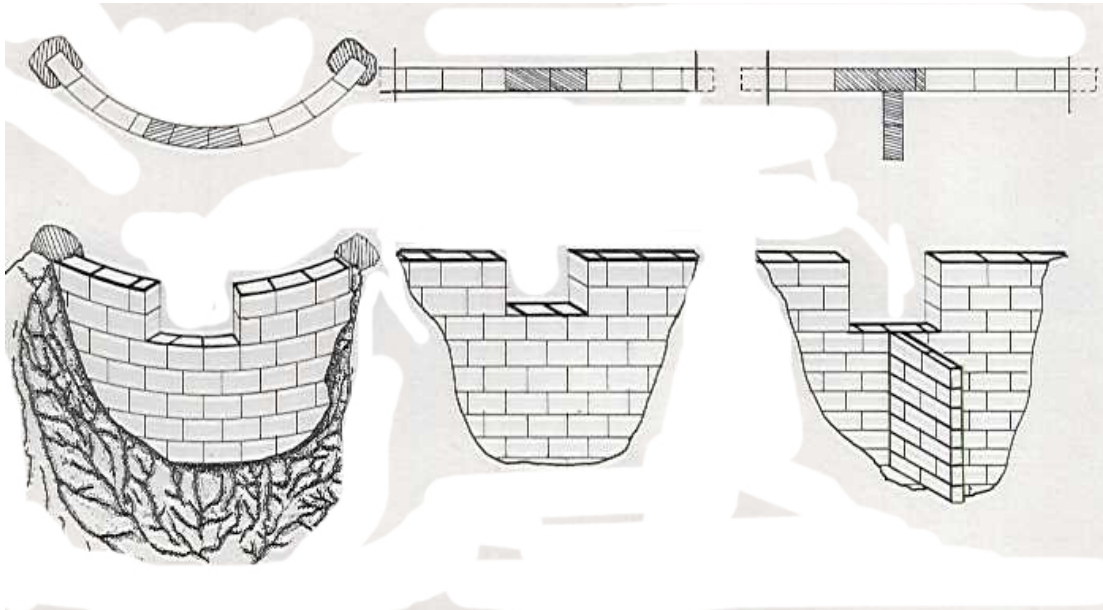


**Figura 8.** Dique en material cárcava (León, 2001)

**2.5.7.2 Diques en suelo cemento.** En lugar de ser rellenos los sacos con material cárcava, se hace con cemento y limo proveniente de ellas en proporción 1:10; el porcentaje de agua en la mezcla debe ser del 10 al 20% por peso y el suelo debe estar libre de terrones, siendo los tamaños de partículas recomendables menores de 9,5 mm o 3/8 pulg. Se deben preparar cantidades en forma tal que puedan ser colocadas en un lapso de tiempo apropiado, para lo cual se citan volúmenes inferiores a 1 m<sup>3</sup> de material preparado; la altura de la estructura y las especificaciones restantes son las anotadas para la recién descrita.

**2.5.8 Presas de ladrillos.** Aún cuando se trata de obras de albañilería, conviene incluirlas en la presentación dado que con ciertas condiciones, pueden ser alternativas atractivas desde el punto de vista económico. Existen varios diseños para este tipo de presa (Figura 9), siendo la presa de arco la que ofrece mejor relación resistencia/peso (Hudson, 1982); pueden alcanzar 1,5 m de altura, y dentro de las ventajas que tienen frente a muros rectos (Hudson, 1982) se menciona que a tamaños similares de ambos

tipos de estructuras, estos últimos necesitarían de 3 a 4 veces más ladrillos para tener la misma resistencia que las presas en cuestión.



**Figura 9.** Tipos de pequeñas presas de ladrillos para el control de cárcavas (Adaptado de Hudson, 1982, en León, 2001)

Dado que la presa de arco trabaja transmitiendo la carga a los contrafuertes de cada extremo, se necesitan buenos soportes sólidos en las paredes de la cárcava, preferiblemente sobre afloramientos rocosos; en el caso de estratos rocosos que atraviesan el lecho de la cárcava, lo más recomendable son las presas rectas, siendo la anchura de su base aproximadamente igual a la altura máxima, acortando las hiladas de ladrillos hacia arriba, generando una sección más o menos triangular.

Es una buena medida colocar un contrafuerte en la parte media de la presa, ya que disminuye el momento flector; al respecto se argumenta que la resistencia al momento flector causado por la presión del agua, es la característica de mayor debilidad en un muro recto, y que es explicado por la siguiente expresión:

$$M = \omega l^2 / 8$$

Donde  $M$  es el momento flector;  $\omega$  es la carga por unidad de longitud; y  $l$  es la longitud de la pared, así, puede concluirse que el riesgo de rotura es proporcional no a la longitud de la pared, sino al cuadrado de ésta; la localización de un contrafuerte en la parte media de la estructura significa reducir la anchura efectiva a la mitad, y disminuir el momento flector a un cuarto (Hudson, 1982).

Han sido propuestas diferentes expresiones para calcular el espaciamiento que se debe tener entre obras transversales, las cuales consideran, en general, la altura de la estructura y la pendiente del terreno sobre la que se disponen. Para el cálculo de dicho espaciamiento, puede emplearse la expresión:

$$E = h/(m_t - m_c)$$

Siendo  $h$  la altura de la obra;  $m_t$  la pendiente del terreno en porcentaje; y  $m_c$  la pendiente de compensación (0,03). Sin embargo, son claras las limitaciones que emergen de tales cálculos, dada la omisión de variables tan importantes como la cantidad de lluvia -o mejor su intensidad- y volúmenes de escurrimiento, razón por la cual las distancias así obtenidas, deberán ser únicamente orientativas, siendo necesario ajustar las que se adopten en el terreno a tales circunstancias climáticas específicas, a juicio de los expertos.

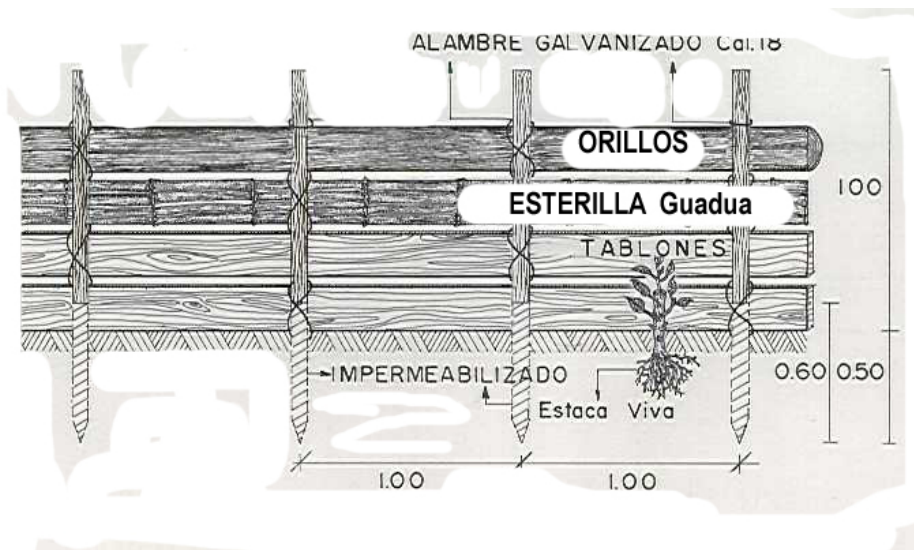
## **2.6 INCORPORACIÓN DE MATERIAL VEGETAL.**

Las estructuras transversales, además del objetivo de controlar el escurrimiento, tienen la función de propiciar las condiciones necesarias para la colonización y crecimiento de vegetación sobre las superficies de colmatación que favorecen; sin embargo, algunas de estas estructuras en su diseño, incorporan expresamente la implementación de coberturas vegetales (caso de estacas vivas que complementan obras de carácter transversal). Asimismo, para la corrección de cárcavas, son formulados programas específicos de repoblamiento vegetal, que van desde la siembra y conformación de barreras vivas con plantas de porte herbáceo y arbustivo, hasta la reforestación de partes

altas de las cuencas de drenaje y áreas cuya estabilización requiere de sistemas radiculares profundos. A los dos grupos de técnicas mencionados, se hace referencia a continuación, cuya descripción recoge en mayor medida, experiencias desarrolladas en el control de la erosión en cárcavas en diferentes regiones de los departamentos de Antioquia y Caldas, Colombia.

**2.6.1 Trinchos en guadua.** Son barreras transversales que permiten la retención de sedimentos y colmatación de la estructura (Escobar, 1989); se construyen en guadua rolliza impregnada con asfalto y ACPM para mayor durabilidad. Como complemento son plantadas estacas vivas junto a los elementos verticales de la estructura (guadua), para las cuales se recomienda una longitud mínima de 40 cm, un diámetro mínimo de 3 cm y su tratamiento previo con sustancias cicatrizantes y enraizadoras.

**2.6.2 Trinchos en madera.** Estructuras también de carácter transversal en las cuales se utilizan como elementos verticales estacones de mínimo 3 pulg de diámetro y 1,5 m de longitud, y como elementos horizontales tablones de madera u orillos fijados con alambre galvanizado, clavos de acero u otro material; la altura de la estructura no debe superar 1 m y se acompaña de estacas vivas a razón de 1 por metro lineal (Figura 10).



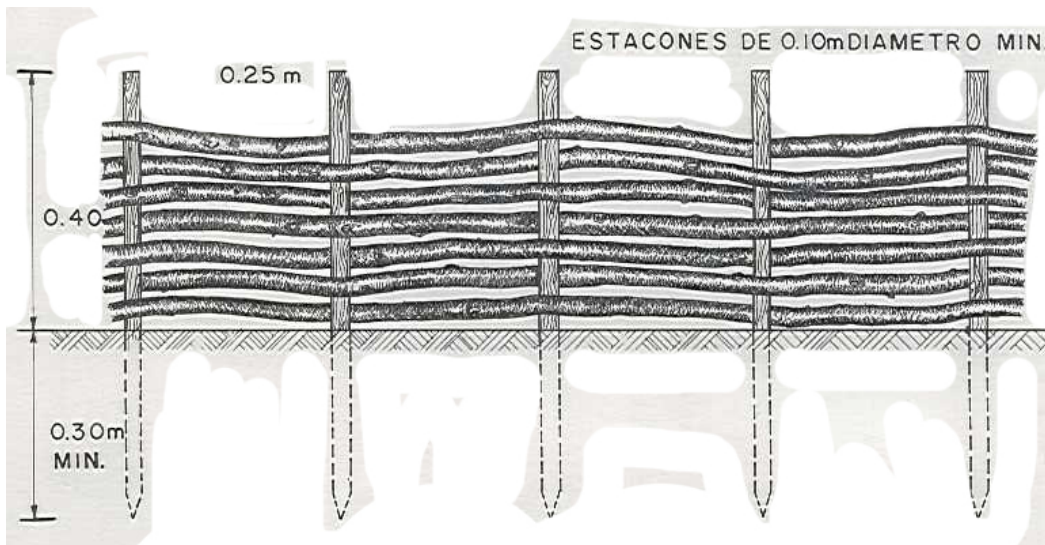
**Figura 10.** Trinchos en madera (León, 2001)

**2.6.3 Trinchos en esterilla.** Estructuras cuyo diseño es básicamente el mismo de los trinchos en guadua, sólo que en su construcción se utiliza macana para el anclaje, y esterilla de guadua como elemento horizontal de la obra; pueden ser utilizadas estacas vivas como elementos verticales y la terraza resultante sembrarse con gramíneas y leguminosas; se reporta asimismo (Escobar, 1989) el empleo de cañabrava (*Gynerium sagittatum*) para su construcción.

**2.6.4 Empalizadas.** Son pequeñas barreras recomendadas para el tratamiento y corrección de surcos poco profundos; se construyen de alturas entre 40 y 50 cm, y se componen de estacas con diámetros que oscilan entre 1 y 3 pulg, las cuales se trenzan con ramas vivas de fácil enraizamiento. Las ramas empleadas deben tener longitudes hasta de 120 cm y ser clavados sus extremos, en tanto que las hileras de estacas se conforman alternando una viva con una muerta, a una distancia de 25 cm una de otra, y a una profundidad de 25 cm. Especies de común utilización son el sauce (*Salix humboldtii*), quiebrabarrigo (*Trichantera gigantea*) y matarratón (*Gliricidia sepium*), entre otras (Figura 11).

**2.6.5 Siembra en surcos.** Consiste en la disposición directa de material vegetal en las cárcavas, previa conformación de surcos siguiendo las curvas de nivel en taludes remodelados; se recomiendan surcos de una profundidad entre 10 y 15 cm dispuestos cada 50 cm. En el fondo de los surcos pueden ser aplicados correctivos para condiciones de extrema acidez, así como algún abono orgánico; éstos se recubren con tierra para luego ser colocados encima estolones de pastos y semilla en forma de “chorro continuo”, posteriormente recubiertos con tierra de unos 3 cm de espesor. En las formaciones ecológicas (Holdridge, 1978) húmedas y muy húmedas del piso altitudinal Montano Bajo (bh-MB y bmh-MB), y en condiciones edáficas de fuerte acidez, se reporta el empleo de las especies de pasto yaraguá peluda (*Melinis minutiflora*) y braquiipará (*Brachiaria recta*); calfos en dosis de 500 kg ha<sup>-1</sup>; gallinaza a razón de 4 ton ha<sup>-1</sup>; y fertilizaciones al voleo a

los 45 días de establecimiento del material vegetal, con productos 25-15-0 en dosificación de 300 kg ha<sup>-1</sup>.



a



b

**Figura 11.** Empalizada (León, 2001)

**2.6.6 Siembra de barreras vivas.** Sin hileras o líneas de plantas, arbustos y árboles de porte medio sembrados en forma densa, a distancias que oscilan entre 20 cm y 3 m, dependiendo de las especies, clima, suelo y pendiente de las laderas (Escobar, 1989); se trata de una práctica de conservación de suelos ampliamente conocida y utilizada, la cual puede ser empleada como una técnica de recuperación de suelos, mediante la introducción de algunas variantes que permitan a las plantas que se introduzcan, prosperar en un medio tan desfavorable. Las barreras vivas, en buena parte, han sido implementadas como medida acompañante de las obras de captación y desviación de aguas, como cunetas y zanjas, con el fin de incrementar la vida útil de estas últimas, así

como para reducir la velocidad de las aguas de escorrentía y servir como trampas de sedimentos; las barreras pueden ser una, dobles o triples, y sencillas o multiestratificadas. Entre las especies más comúnmente empleadas pueden ser citadas: limoncillo (*Cymbopogon citratus*), citronela (*Andropogon citratus*), pasto imperial (*Axonopus scoparius*), cañabrava (*Gynerium sagittatum*), bambú (*Bambusa* sp), leucaena (*Leucaena* sp) y cabuya (*Agave* sp), entre otras.

Los sistemas de siembra seguidos para las especies herbáceas son básicamente dos, por cepas y por estolones. En términos generales las actividades culturales que acompañan su establecimiento en campo, en secuencia cronológica, son las siguientes: repicado del terreno (profundidad y anchura de 20 cm ambos); aplicación de correctores de acidez (calfos) en dosis de 30 g por metro lineal; abonado orgánico con gallinaza, a razón de 200 g por metro lineal; siembra de cepas distanciadas 15 cm entre ellas, y estolones dispuestos en forma de “chorro continuo”, previa selección del material vegetal según criterios de calidad adoptados para el mismo (se recomiendan, para el caso de cepas, longitudes de 25 cm de la parte aérea y de 8 a 10 cm de la parte radicular, y para los estolones, un mínimo de 3 entrenudos por unidad).

Finalmente, se sugiere la realización de una fertilización con producto compuesto 25-15-0 o similar, en dosis de 20 g por metro lineal, aplicado en forma de bandas sencillas a lo largo de los surcos, y a una distancia de 5 cm de las plántulas. Las barreras vivas suelen establecerse en dirección paralela a la de las cunetas o zanjas que acompañan, siendo dispuesta una primera línea a 80 cm y otra a 40 cm de la anterior.

**2.6.7 Empradizados.** Esta técnica corresponde a una forma fácil y rápida de dar cobertura a un terreno, dado que el material vegetal ya se ha desarrollado apropiadamente, sin embargo es, por otra parte, costosa. SCS (1973) plantea que en aquellos casos en que se dispone de buen césped y el material que escurre no es mucho, aquél puede emplearse en lugar de los materiales más costosos; asimismo indica la



importancia de su inclusión expresa en la recuperación de las cárcavas, señalando que el césped *“es necesario para cubrir las partes principales de las cárcavas como en la cabecera o en ciertas partes a lo largo de los bordes o del fondo, donde se producen caídas de agua”*; de aquí que el uso de ciertas especies de césped en la configuración de los “delantales” que acompañan vertederos de diques y demás estructuras transversales pueda resultar ventajoso bajo ciertas circunstancias particulares.

La técnica consiste en la utilización de cuadros de pasto de 30 x 30 cm, con una capa negra no inferior a 5 cm; son fijados a la superficie mediante estacas preferiblemente vivas, recomendándose hacer una fertilización previa. La técnica tiene a su favor en la efectividad en el control de la erosión, que los pastos constituyen una defensa excelente contra el impacto de las gotas de lluvia, y el material vegetal propagado por estacas brinda amarre al suelo.

### **3. SEGUIMIENTO Y MANTENIMIENTO DEL PROGRAMA DE CONTROL DE LA EROSIÓN.**

Dadas diversas circunstancias como la posible lejanía geográfica, el carácter perecedero de las obras, la magnitud de la inversión, y la importancia inherente al papel que desempeñan, debe prodigarse de una adecuada y permanente vigilancia, al conjunto de obras dispuestas para el control de la erosión, de cara a prolongar su vida útil y determinar la funcionalidad de las medidas adoptadas; un programa de seguimiento y monitoreo, a partir de la implementación de las obras, es deseable para corregir a tiempo problemas que se detecten, y para su consideración en diseños futuros.

La importancia del seguimiento y mantenimiento es destacada por SCS (1973), cuya exposición se reproduce a continuación, dado su certero enfoque en términos de la práctica; según el autor, tales obras *“deben inspeccionarse con regularidad, particularmente después de lluvias torrenciales, para determinar si están funcionando bien o si necesitan reparaciones. Esto es particularmente conveniente en el caso de obras a*

*base de vegetación, durante el período en que ésta está arraigando que es su período más crítico. La atención que se de a las modificaciones y reparaciones menores cuando la vegetación está en ese período, determinará a menudo el éxito o fracaso de la obra. Las construcciones artificiales son más susceptibles de fracasar poco después de instaladas, porque tardan algún tiempo en afirmarse, consolidarse y afianzarse por completo”.*

Algunos de los puntos que deben ser considerados en un programa de monitoreo de obras, son los siguientes: conveniencia y efectividad de las medidas adoptadas en el control de la erosión; problemas, bondades y cambios necesarios inherentes al diseño de obras y medidas; durabilidad o vida útil de obras; necesidades de mantenimiento; y nuevas obras y medidas necesarias.

El adecuado diseño y puesta en funcionamiento de programas de seguimiento y evaluación de las obras que se implementen para los efectos planteados, permitirá contar en lo futuro con paquetes tecnológicos de remediación –programas de control-compuestos por obras y medidas bastante refinadas, producto de la incorporación de ajustes que, con el paso del tiempo, vayan haciéndose.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL RIONEGRO-NARE (CORNARE). 1995. *Taller Control de Erosión (Conocimientos Básicos para el Control de la Erosión)*. Santuario: CORNARE (sin publicar)

ESCOBAR, Carlos Enrique. 1989. “Control de la erosión”. En: *Revista de las Corporaciones Regionales* , Vol 1: 15-24

FOURNIER, F. 1975. *Conservación de Suelos*. Madrid: Mundi-Prensa

HOLDRIDGE, Leslie. 1978. *Ecología Basada en Zonas de Vida*. San José de Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas

HUDSON, N. 1982. *Conservación del Suelo*. Barcelona: Reverté

LEON P., Juan Diego. 2001. *Estudio y Control de la Erosión Hídrica*. Medellín: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Medellín

MODER Z., L. 1983a. Control de cárcavas. CONAF. Sexta región. Primera Parte. En: Chile Forestal No. 94: 29-40

\_\_\_\_\_. 1983b. Control de cárcavas. CONAF. Sexta región. Segunda parte. En: Chile Forestal No. 95: 29-40

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (PNUMA). 2000. *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*. Madrid: Mundi-Prensa

SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS, DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. 1973. *Manual de Conservación de Suelos*. México: Limusa-Wiley

SUÁREZ De Castro, Fernando. 1980. *Conservación de Suelos*. San José de Costa Rica: IICA

SUÁREZ Díaz, Jaime. 1989. *Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander

\_\_\_\_\_. 1992. *Manual de Ingeniería para el Control de Erosión*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander