



Cruz Roja Hondureña

Cruz Roja Suiza



Proyecto: Fortalecimiento de la gestión del riesgo en el Municipio de Dulce Nombre de Culmí, Olancho

MANUAL DE BIOINGENIERA

Compilado de varios autores por:
Miriam Downs / Cooperación Suiza



Dulce Nombre de Culmi, Honduras



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

CONTENIDO

	Pag.
Parte 1. Marco teórico	3
1.0 Que es la Bioingeniería	3
1.1 Técnicas de Bioingeniería	3
2. Influencia de la Vegetación en los taludes	4
2.1 Factores positivos y negativos de la vegetación	5
2.2 Características de las raíces	5
2.3 Acción de refuerzo de las raíces	6
2.4 Limitaciones de la Protección vegetal	7
3. Selección de especies vegetales	8
4. Ventajas de la bioingeniería vs estructuras de ingeniería civil	8
Parte 2. Técnicas de Bioingeniería	9
1. Estacas Vivas	10
2. Escalones de matorral/Capas de ramas	12
3. Fajinas (Wattles)	17
4. Fajinas de drenaje	19
5. Mini Barreras Vivas de Control	21
6. Barreras densas vivas	23
7. Barrera de piedra Inter.. con vegetación	27
8. Barrera de pasto	30
9. Control de erosión con vetiver	32
10. Sampeado de piedra con vegetación	34
11. Vallas de retención (Wattle fence)	36
Anexos	
1. Lista de árboles utilizados en bioingeniería	39
2. Procedimientos para elaborar fajinas	40
3. Tabla comparativa de técnicas Bioingenierías vs Ingeniería	41
Bibliografía	42

PARTE I. MARCO TEORICO

1.0 ¿QUÉ ES LA BIOINGENIERÍA?

La bioingeniería es la inclusión de pastos, arbustos, árboles y otros tipos de vegetación en el diseño de ingeniería para mejorar y proteger laderas, terraplenes y estructuras de los problemas relacionados con la erosión y otros tipos de inestabilidades "superficiales" en laderas.

La bioingeniería utiliza los efectos mecánicos e hidrológicos benéficos de una comunidad de plantas para cumplir una función de ingeniería:

- La vegetación puede aumentar la resistencia del suelo al agrietamiento,
- proteger de la erosión laminar una superficie de suelo expuesta y,
- atrapar las partículas de suelo que se deslizan por el talud.

1.1 Técnicas de Bioingeniería

Bioingeniería de suelo y estabilización biotécnica son términos que se utilizan para nombrar al conjunto de técnicas de tratamiento de taludes en las que se utilizan la vegetación como elemento principal de estabilización y control de erosión.

La Estabilización Biotécnica y la Bioingeniería de Suelos son conceptos relativamente nuevos en los que su característica principal está dada por la asociación de los **materiales y sus tipos** usados para recuperar los suelos de los terrenos inclinados o taludes, con su **efecto estabilizador** de los procesos de desestabilización y degradación que los afectan.

Existen dos enfoques para hacer frente a esta problemática:

- **Enfoque "duro" o "convencional"**: aquel que mediante estructuras tales como superficies cementadas, gavionadas, etc, o con mallas de alambre, que generalmente son costosas, dan solución al problema.
- **Enfoque "blando" o "verde"**: aquel que mediante el uso de vegetación, que es mucho menos costoso, estéticamente agradable y favorable para el entorno, también da solución al problema.¹

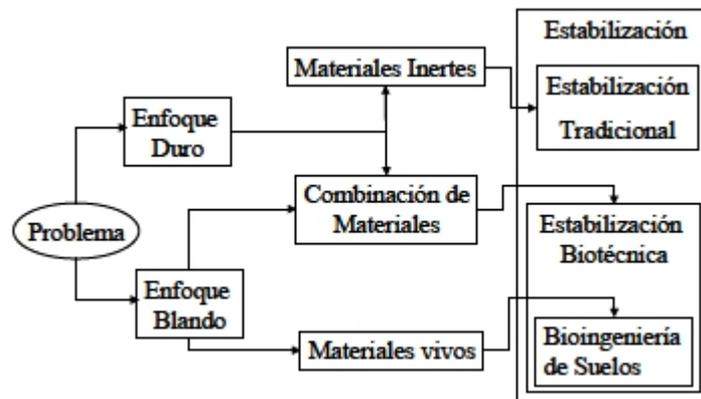
De esta forma es como surgen la Estabilización Biotécnica (EB) y Bioingeniería del Suelo (BS), técnicas para tratamiento de taludes y en general terrenos con altas pendientes, en las que se utiliza como elemento principal de estabilización y control de erosión la vegetación.

La Estabilización Biotécnica hace mención a la utilización combinada de materiales vegetales vivos y componentes mecánicos o estructurales inertes. Los componentes inertes incluyen una amplia gama de materiales como hormigón, madera, piedra, geotextiles y geomallas.

Por su parte la Bioingeniería del Suelo es un término mas bien específico que se refiere a la utilización de plantas completas o tallos, fracciones de tallos, raíces o ramas con capacidad

¹ En general, esto funciona siempre que las **condiciones climáticas**, del terreno y del **suelo**, no sean adversas. Sin embargo, si el suelo es muy arenoso o **erosionable**, el pasto por si solo no evitara el **deslizamiento superficial**, sobre todo en una zona de alta precipitación. En terrenos con pendiente pronunciada (1:1 o bien >45°) los árboles y arbustos no se desarrollan bien (ni tampoco los pastos comunes); estos además, son muy lentos para establecerse y pueden tardar de 1 a 3 años para llegar a ser eficaces como efecto estabilizador.

de enraizar y desarrollar una planta adulta completa - como elementos principales y únicos en la estabilización de taludes.



2. LA INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN EN LOS TALUDES

La vegetación que se establece bien en un determinado talud y se siembra con suficiente densidad, puede proporcionar una eficaz protección a la superficie del talud.

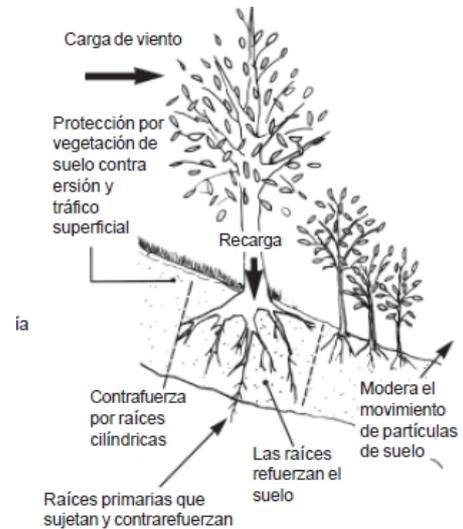
La influencia de la vegetación en las condiciones de los taludes puede definirse de dos maneras:

- **Hidrológicamente**, la vegetación afecta las condiciones hidrológicas de un talud e influye sobre la velocidad y el volumen del flujo del agua hacia y sobre una superficie de talud mediante los procesos de: intercepción de la lluvia, flujo radicular, evaporación de gotas en las hojas, evapotranspiración e infiltración;

- Ø Dependiendo de la intensidad de la lluvia y del cubrimiento y tipo de vegetación en un bosque tropical, puede interceptarse hasta un 60% del total de la lluvia anual.
- Ø Los árboles de mayor volumen o densidad de follaje, demoran más el ciclo hidrológico ya que retienen por mayor tiempo las gotas de lluvia.
- Ø En el caso de lluvias muy intensas la retención de agua es mínima, pero en el caso de lluvias moderadas a ligeras, la retención puede ser hasta de un 30%, dependiendo de las características de la vegetación.
- Ø Durante un día soleado un Eucalipto puede extraer del suelo hasta 500 litros de agua y un pasto hasta un litro por metro cuadrado (Williams y Pidgeon - 1983).
- Ø Los árboles espaciados cercanamente y las hierbas extraen más agua que los pastos.
- Ø La clave desde el punto de vista de ingeniería es determinar la humedad máxima y el nivel freático crítico para un talud determinado, teniendo en cuenta el efecto de la vegetación.
- Ø En ocasiones la vegetación produce un efecto de mantener la humedad por debajo del límite de saturación mejorando la estabilidad de las laderas.
- Ø Cuando las lluvias son muy intensas y de larga duración, el efecto de la vegetación sobre el ciclo hidrológico es mínimo. El efecto sin embargo es muy importante en áreas con regimenes moderados de lluvias

1. **Mecánicamente**, la vegetación aumenta la fortaleza y competencia del suelo en el cual está creciendo y por lo tanto contribuye a su estabilidad.

- Ø Los árboles altos reducen mas la erosión que los arbustos.
- Ø Las hierbas o maleza protegen mejor contra la erosión que los pastos.
- Ø La mejor protección contra la erosión y los deslizamientos, se obtiene estableciendo conjuntamente todos los sistemas de vegetación, incluyendo los musgos y demás variedades.
- Ø La vegetación cumple dos funciones principales: Determina el contenido de agua en la superficie del suelo y, Da consistencia al suelo debido al entramado mecánico de sus raíces



Los efectos de la deforestación sobre la estabilidad de los taludes puede no ser inmediata. Inicialmente se produce un cambio hidrológico y un aumento de la erosión superficial y de la infiltración, pero los efectos desastrosos se observan, cuando la infraestructura radicular original se descompone, generalmente entre 2 a 5 años después de la deforestación.

Bache(1984) reportó que en árboles de raíces profundas a los 30 meses después de la deforestación, la resistencia a la tensión de las raíces disminuyó entre 65 y 86% dependiendo de la especie. Las raíces más pequeñas que son las que tienen mayor resistencia a la tensión o al arrancamiento son las primeras en descomponerse. La rapidez con que se descompone depende de la especie de árbol y de las condiciones del sitio y del suelo

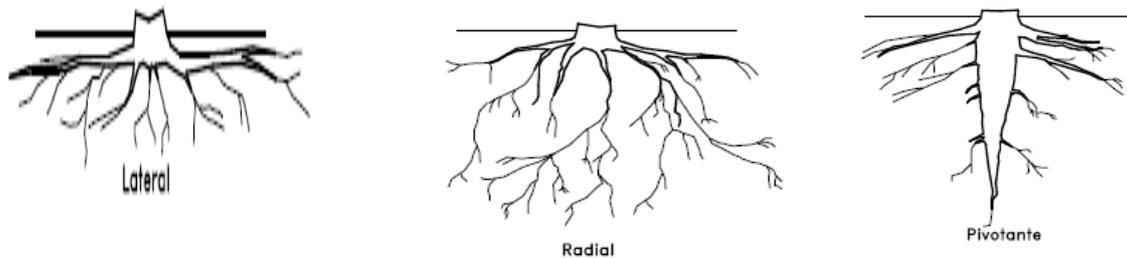
2.1 Factores positivos y negativos de la vegetación :

1. Intercepta la lluvia. (+)
2. Aumenta la capacidad de infiltración. (+)
3. Extrae la humedad del suelo. (+)
4. Transmiten al suelo fuerza del viento. (-)
5. Sus raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al cortante.(+)
6. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos. (+)
7. Aumentan el peso sobre el talud (-)
8. Algunas especies causan Grietas por desecación, ya que extraen toda el agua. (-)
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión. (+)

2.2.1 Características de las raíces

- Las características de las raíces dependen de la especie vegetal, la edad, las propiedades del perfil de suelo y el medio ambiente.
- La profundidad de las raíces generalmente, no supera los 5 m en árboles grandes, 2m en los arbustos y 30 cm en pastos;
- La extensión lateral del sistema radicular generalmente, es mayor que su profundidad y en algunos casos superan los 50 metros de longitud.

- Algunas plantas (Greenway- 1987) poseen un sistema de raíz “extensivo”, en el cual las raíces alcanzan profundidades o extensiones grandes, mientras otras forman un sistema “intensivo” con raíces más cortas y finas. La forma de las raíces puede presentar tres esquemas diferentes así:
 - a. Raíz de extensión lateral
 - b. Raíz de extensión radial.
 - c. Raíz pivotante: son muy efectivas para la estabilización de deslizamientos poco profundos ya que alcanzan profundidades mayores que las raíces laterales o radiales:



Leventhal y Mostyn (1987) indican que las raíces de diámetro menor a 20 milímetros son las más importantes para la estabilidad de un talud que las raíces de mayor diámetro. Otro factor que contribuye a la resistencia del sistema suelo- raíces es la densidad de raíces por volumen de suelo.

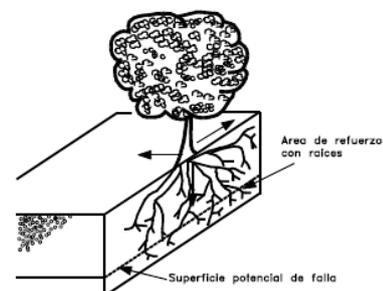
La profundidad de las raíces es un factor muy importante. La profundidad de refuerzo de las raíces de los pastos es de solo 20 centímetros comúnmente, pero algunas especies tienen profundidades que permiten el anclaje a mantos de roca relativamente profundos.

Se conoce de Eucaliptus con raíces hasta de 27 metros y raíces de bosque tropical hasta de 30 metros de profundidad, pero la mayoría de los árboles tienen raíces de profundidad hasta de tres a 5 metros (Greenway- 1987) y esta es la profundidad hasta la que puede confiarse un refuerzo con raíces.

2.3 Acción de refuerzo de las raíces

Las raíces refuerzan la estructura del suelo y pueden actuar como anclajes en las discontinuidades. Sidle (1985) explica el efecto de las raíces sobre la resistencia del suelo en tres formas:

- a. Unir materiales de los suelos inestables a mantos más estables. Este efecto es más pronunciado donde la superficie crítica de falla se encuentra en la zona de raíces.
- b. Formar una red densa entretrejida en los primeros 30 a 50 centímetros de suelo, y esta red forma una membrana lateral que tiende a reforzar la masa de suelo más superficial y sostenerla en el sitio.
- c. Las raíces individuales actúan como anclajes que estabilizan los arcos de suelo que se extienden a través del talud.



La resistencia a la tensión de las raíces puede ser hasta el 30% de la del acero, según Schiechl(1980) y pueden extenderse varios metros por debajo de la superficie del talud.

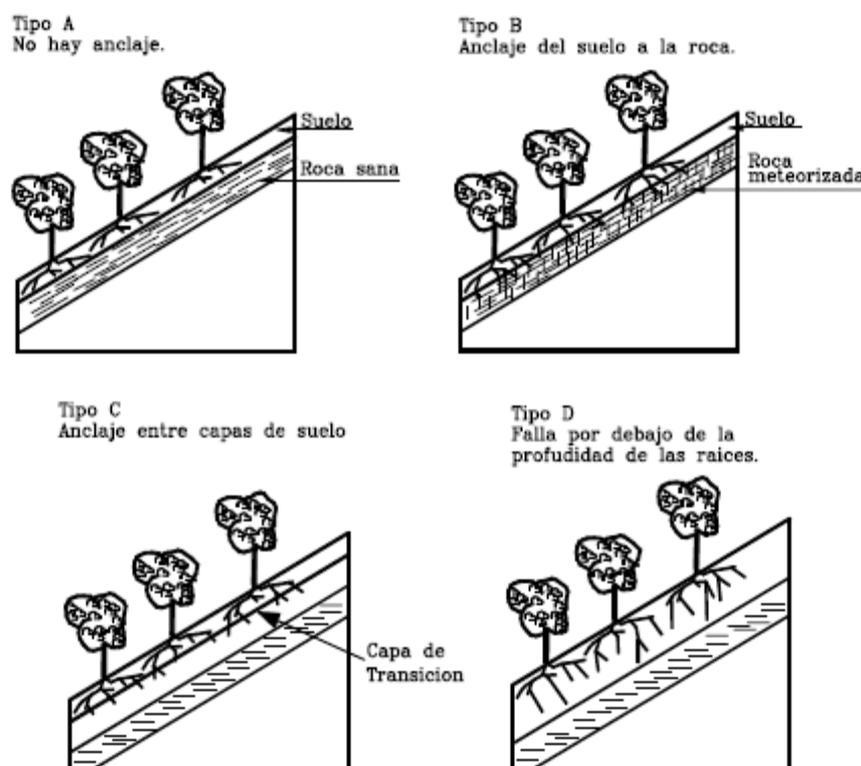
Una clasificación del refuerzo de taludes con las raíces de los árboles fue propuesta por Tsukamoto and Kusakabe (1984).

TIPO A: Taludes que poseen una capa muy delgada de suelo sobre roca masiva y sin defectos que permitan puntos de anclaje para las raíces y una superficie de falla potencial entre el suelo y la roca.

TIPO B: Una capa delgada de suelo sobre una roca con fracturas o defectos que permiten la entrada y anclaje de las raíces.

TIPO C: Varias capas de suelo y las raíces penetran normalmente las interfaces reforzando los contactos entre las diversas capas.

TIPO D: Taludes con una capa gruesa de suelo y raíces a profundidades inferiores a las de las superficies potenciales de falla.



2.4 Limitaciones de la protección vegetal

El establecimiento exitoso de vegetación en un talud está determinado por muchos factores tales como: época de siembra, pendiente del talud, localización, y composición de los materiales del talud.

Las épocas ideales de plantación son las semanas anteriores a la temporada de lluvias, sin embargo se puede realizar el plante en épocas secas disponiendo de un programa adecuado de riego.

La pendiente de los taludes tiene un efecto importante en el esfuerzo requerido para establecer la cobertura vegetal. Para taludes de pendiente alta se requiere colocar elementos de anclaje para los pastos y bermas para los árboles. En taludes de pendiente fuerte se aconseja no sembrar árboles, sino arbustos para disminuir las fuerzas del viento sobre ellos.

Si los materiales del suelo son muy duros se puede requerir la excavación de cajas profundas para la siembra de cada arbusto y deben utilizarse cantidades importantes de suelo orgánico o fertilizantes.

Con referencia a la localización del talud, los taludes que reciben la exposición directa del sol de la tarde presentan mayores dificultades para la vegetación, que los que reciben el sol de la mañana o poseen condiciones de sombra relativa.

Deben analizarse, además, los factores relacionados con la presencia del hombre:

Pisoteo, quemas, basuras, humo de los vehículos, etc.

3 SELECCIÓN DE ESPECIES VEGETALES

Como no existen especies universales se debe acudir a los expertos forestales para escoger la especie de pasto, hierba, arbusto o árbol que se debe utilizar para cada caso específico, teniendo muy en cuenta la experiencia local y las diferencias de tolerancias y hábitos de las diferentes especies.

El tipo de vegetación que cubre la superficie del talud tiene efecto sobre la estabilidad, por ejemplo, Campbell (1975) reportó que los deslizamientos de suelo eran 3 a 5 veces más frecuentes en aquellos taludes cubiertos por pastos que en aquellos cubiertos por maleza y arbustos.

Los deslizamientos en taludes cubiertos por pasto eran más cortos y más anchos y ocurren a ángulos de inclinación menores que aquellos cubiertos por maleza. La especie vegetal debe seleccionarse que sea compatible con las condiciones del suelo y el sitio, incluyendo disponibilidad de agua, nutrientes, PH, clima, regulaciones gubernamentales, etc.

Tabla 8.5 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de planta (Gray y Sotir, 1996)

Tipo	Ventajas	Desventajas
Pastos	Versátiles y baratos; variedades para escoger con diferentes tolerancias; fácil de establecer; buena densidad de cobertura.	Raíces poco profundas y se requiere mantenimiento permanente.
Juncos	Crecen rápidamente y son fáciles de establecer en las riberas de ríos.	Difíciles de obtener y el sistema de plantación no es sencillo.
Hierbas	Raíz relativamente profunda.	Algunas veces son difíciles de establecer y no se consiguen raíces.
Arbustos	Variedades para escoger. Existen especies que se reproducen por estaca. Raíz profunda, buena cobertura, bajo mantenimiento.	Algunas veces son difíciles de establecer
Arboles	Raíces profundas, no requieren mantenimiento.	Es demorado su establecimiento y generalmente son más costosos.

4. VENTAJAS DE LA BIOINGENIERÍA vs ESTRUCTURAS DE INGENIERÍA CIVIL

La bioingeniería ha demostrado ser eficaz para controlar la erosión del suelo y los movimientos superficiales del subsuelo.

Una estructura de bioingeniería es a menudo más eficaz con relación al costo que una estructura inerte por sí sola, debido a que:

Si se establece y maneja bien, la vegetación tiende a fortalecerse con el tiempo, mientras que una estructura inerte se va debilitando con el tiempo, lo que hace que la bioingeniería tenga una mayor atracción;

- La bioingeniería utiliza materiales locales como vegetación y rocas; no depende de insumos importados ni de gastos en divisas

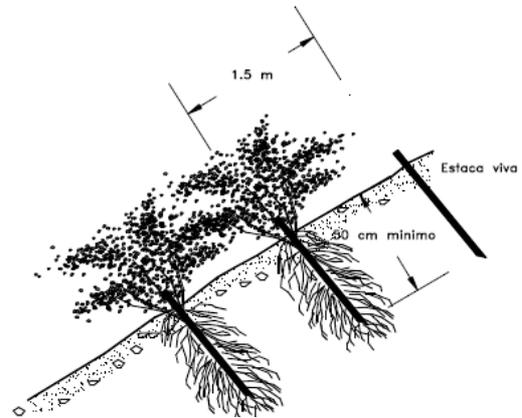
PARTE 2. Técnicas de Bioingeniería

	Categorías	Ejemplos
Construcciones Vivas	Técnicas Convencionales de Revegetación	Siembra
		Tepes
		Transplantes
	Plantas Leñosas utilizadas como refuerzo y como barreras para la contención del suelo	Estaquillado
		Fajinas
		Escalones de Matorral
		Paquetes de Matorral
	Esteras	
Construcciones Mixtas	Asociación de estructuras inertes y plantas	Muros y Revestimiento con una cara plantada
		Estructuras de neumáticos con plantación
	Plantación de Leñosas en aberturas frontales o intersticios de estructuras de retención	Muros de Contención contruidos con madera y vegetales vivos
		Gaviones de Roca Vegetada
		Estructuras de reforzamiento plantadas
		Malla tridimensional revegetada
	Plantación de Leñosas en aberturas frontales o intersticios de revestimientos porosos	Plantación en las juntas
		Revestimiento de bloques de hormigón plantado
		Sistemas de confinamiento celular
		Pastos reforzados con geotextiles

1. Estacas vivas

Descripción

Las estacas vivas son longitudes de tallo de árboles y arbustos que se entierran en el suelo con el objeto de que broten árboles. El procedimiento es simple, rápido y económico.



Uso de ingeniería

- Las estacas vivas pueden utilizarse como un tratamiento primario en el cual las estacas cumplen un objetivo de anclar otros elementos como trinchos o mantos vegetales, gaviones, etc, las cuales posteriormente se convertirían en árboles o arbustos.
- **Estabilizan el suelo por refuerzo y cohesión de sus partículas** y reducen el exceso de humedad, drenado el talud.
- Es recomendada para estabilizar deslizamientos pequeños y asentamientos debido a exceso de humedad en el suelo

Materiales

- Martillos de caucho
- Estacas de 1 a 3 cm de diámetro y 60 cm a 100 cm de longitud, provenientes de arboles de 2 a 3 años de edad, sin enfermedades. Y corteza fina.
- Pala
- Barra

Procedimiento de construcción

- a. Cortar la parte superior de la estaca normal al eje y la parte inferior en forma de punta para facilitar su inserción.
- b. Clavar la estaca en ángulo recto, normal a la superficie del talud, utilizando martillos de caucho, y con las yemas hacia arriba. También se puede hacer un hoyo con la barra.
- c. La densidad de instalación debe ser de tres a cuatro estacas por metro cuadrado para garantizar un cubrimiento adecuado en corto tiempo.
- d. Entre cada estaca debe haber al menos 1.5 m de distancia.
- e. Las dos terceras partes (60 cm) de la estaca deben estar enterradas dentro de la tierra
- f. Compactar la tierra a su alrededor.

2. Escalones de matorral/Capas de ramas

Descripción

Los escalones de matorral son ramas de especies leñosas, con capacidad de enraizar, dispuestas en pequeñas zanjas o entre capas sucesivas de tierra dispuestas a lo largo de la pendiente del talud, de manera que forman escalones. También se les llama capas de enramados en alguna literatura.

Difiere de las fajinas en la orientación de las ramas y la profundidad de las zanjas. Aquí las ramas se orientan perpendiculares al perfil del talud y se introducen hasta 2 m dentro de él. La orientación perpendicular es más efectiva para el refuerzo del suelo y la estabilidad del talud frente a movimientos de masa.

Uso en Ingeniería

- El principal uso de los escalones de matorral es **reforzar el suelo e incrementar la resistencia a los deslizamientos** y a los movimientos rotacionales.
- Ayuda a retener sedimentos y mejorar la infiltración del agua en suelos secos.
- Drena los suelos muy húmedos
- Disminuye la longitud efectiva de la pendiente.
- Actúan como drenajes horizontales.
- Las ramas desde su colocación actúan como barreras de sedimentos y retardadores del flujo.
- Refuerzan el talud en forma similar a los geosintéticos en la tierra reforzada. Cuando germinan y se establece la vegetación, la capacidad del refuerzo aumenta por acción de las raíces y el follaje favorece el control de la erosión.
-

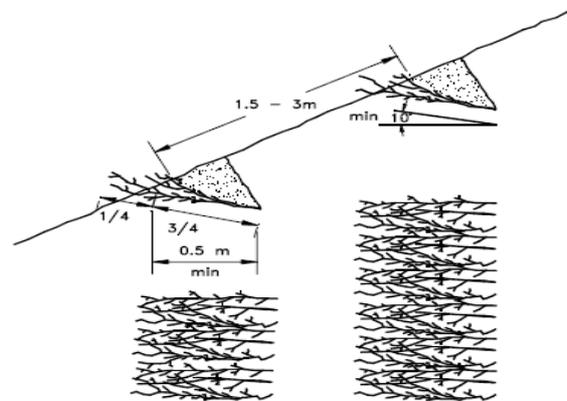
Materiales

- Pala
- Ramas de 1.0 a 2.5m de longitud y 25-50mm de diámetro (madero negro o sauce)
- Yute
- Estacas

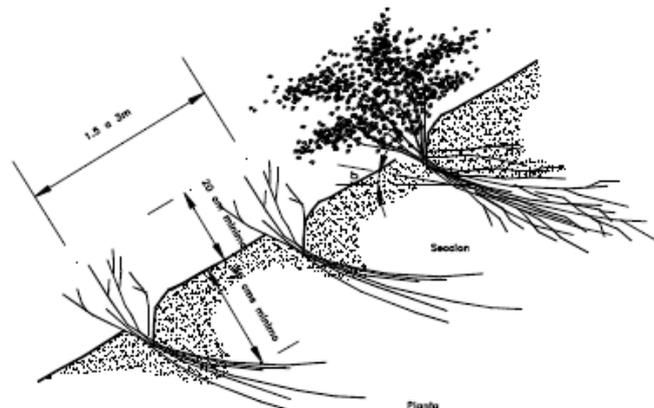
Procedimiento

- Se excavan zanjas a mano desde el pie del talud hacia la cabecera conforme las líneas de nivel del talud. En taludes muy húmedos también se pueden colocar siguiendo la pendiente para facilitar el drenaje.
- Las zanjas, ligeramente inclinadas en contrapendiente ($\alpha 10^\circ$ a 20°) hacia el talud se excavan hasta una profundidad de 50 cm y con un ancho de 0.5 a 1 m
- Entre cada zanja debe haber entre 1.5 y 3m de distancia, según la pendiente del talud.
- Se colocan las ramas perpendicular a la superficie del talud, con las yemas de crecimiento hacia fuera, enterradas hasta $3/4$ de su longitud, y queda por fuera $1/4$ (unos 30 cm).
- Las ramas se colocan entrecruzadas con un espesor de 75 a 200 mm.

- Se rellenan las zanjas con suelo de la zanja superior y se compacta.



Si la pendiente es fuerte (3H:1V), entre cada zanja se acostumbra colocar una protección en manto vegetal utilizando un agrotexil o yute, el cual puede asegurarse a su vez, utilizando estacas vivas. Si es inferior no se puede sembrar vegetación para proteger de la erosión.



Variaciones

Capas de ramas combinadas con telas de refuerzo y confinamiento:

Este sistema consiste en capas de entramados colocadas entre capas de suelo envueltas por telas sintéticas u orgánicas, las cuales actúan como refuerzo y confinamiento del suelo. En la realidad es una combinación del sistema de tierra reforzada con el de capas de entramados. Los entramados se colocan en forma entrecruzada con las puntas sobresaliendo a la superficie. Los entramados actúan como protectores de la erosión y como refuerzo adicional.

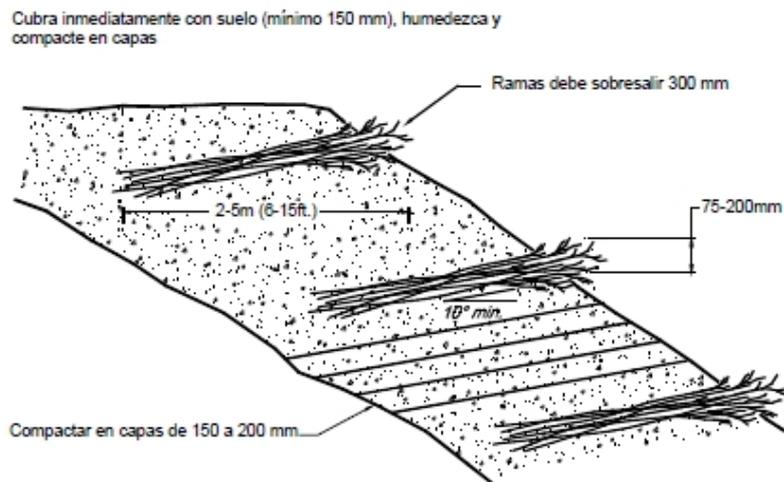
El relleno de suelo a utilizarse en las capas de entramados debe ser de suelos mixtos compuestos por arena, grava y arcilla. Preferiblemente con materia orgánica o con nutrientes de abono. No se deben utilizar arenas, gravas limpias o arcillas plásticas. Desde el punto de vista de Ingeniería el suelo a utilizar debe ser lo suficientemente permeable para permitir la presencia de aire y lo suficientemente impermeable para sostener la humedad por períodos largos de tiempo.

Técnica Adicional

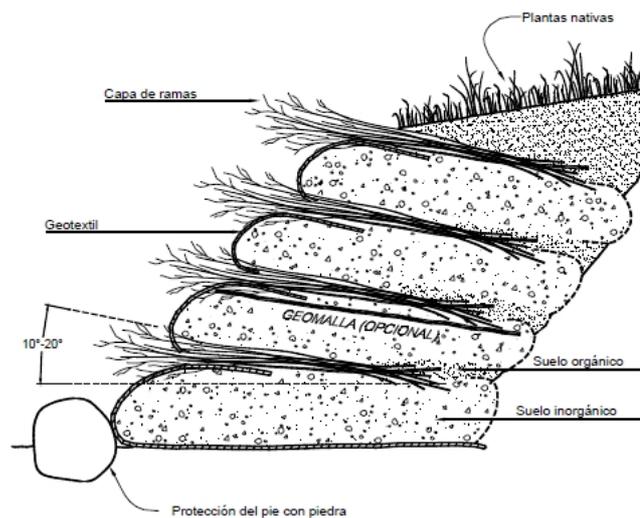
Pasos para la construcción

- La terraza sobre la cual se colocan las capas de ramas debe tener una pendiente hacia atrás de 10 a 20 grados con la horizontal.

- Colocar las ramas entrecruzadas formando una red diagonal o con un sistema de traslape.
- Las puntas de las ramas deben alinearse en tal forma que sobresalgan hacia afuera del talud.
- Coloque las capas de suelo compactando ligeramente. Pueden colocarse varias capas de suelo compactado.
- El espaciamiento vertical entre capas de ramas debe ser de 1 a 2 metros. El espaciamiento debe ser menor en la parte inferior del talud.
- En taludes de baja pendiente se puede colocar Mulching para siembra entre capas, y en taludes de pendiente fuerte se puede sembrar utilizando otras técnicas, como hidrosembrado o protección con textiles.



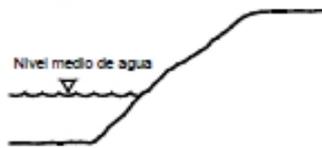
Con capas de suelo compactado entre cada capa de ramas



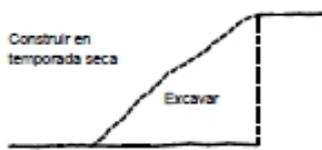
Con suelo compactado y cubierto con geotextil o yute

Paso a paso

Paso 1



Paso 2



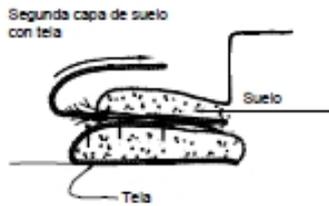
Paso 3



Paso 4

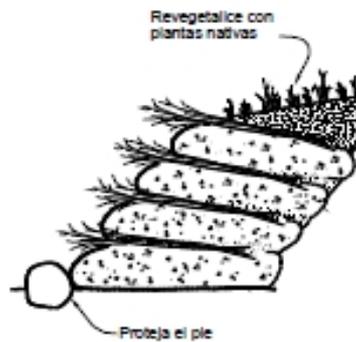


Paso 5



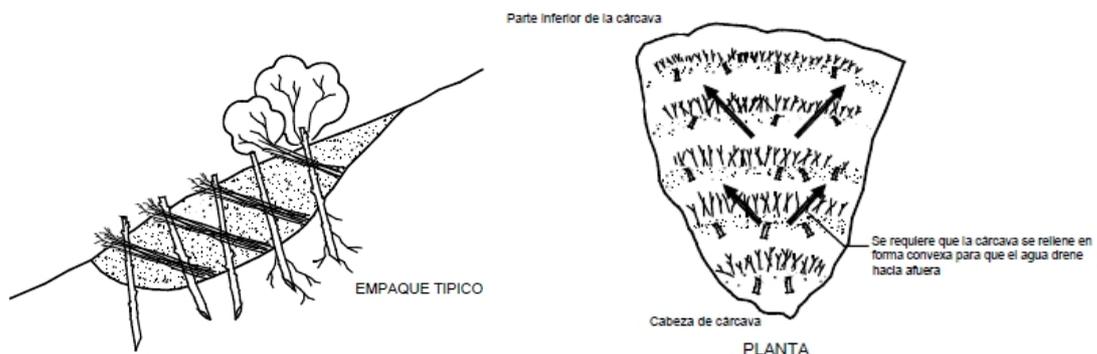
Paso 6

Repita pasos 3,4 y 5

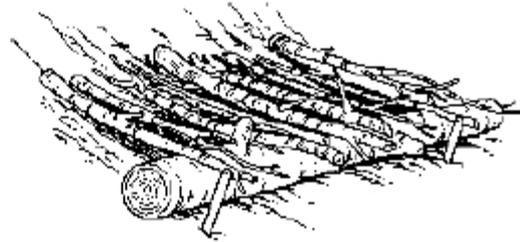
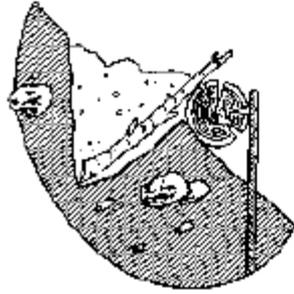


Capas de ramas y suelo para relleno de cárcavas

El sistema consiste en rellenar la cárcava alternando capas de ramas y de suelo compactado, simulando una tierra reforzada. El procedimiento es muy similar al de las capas de enramados. Las ramas una vez desarrollan raíces y follaje actúan como protección definitiva para la erosión de la cárcava. Este sistema se recomienda utilizarlo solamente en cárcavas poco profundas, de máximo 60 centímetros de profundidad y máximo 10 metros de longitud.



Capas de ramas modificada: (1-2 metros de ancho) elaborados con trozos de troncos y estacas o tablones de madera y ramas de sauce vivo o madero negro. Excelente para la estabilización de la erosión activa en laderas y barrancos. Usado para dar una cobertura completa de una ladera o la pared de un barranco.

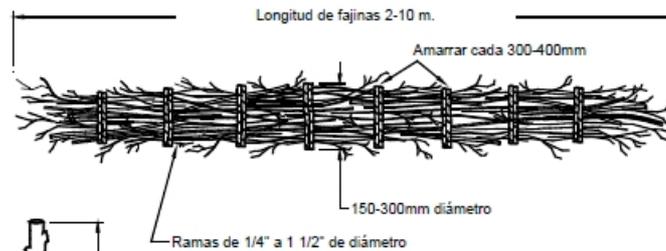


Source: Polster Environmental Services

3 FAJINAS (WATTLES)

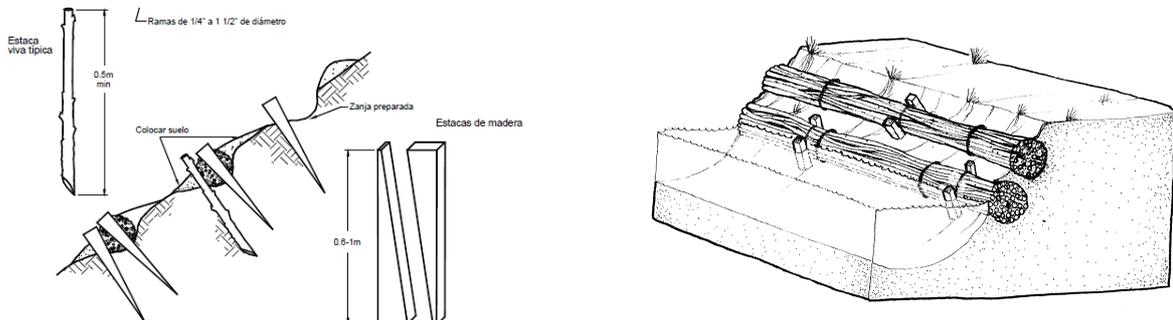
Descripción

Las fajinas son manojos semicilíndricos de ramas o de hierbas de diámetro 0.20 y 0.40 mts., y longitudes entre 2 y 9 mts; atadas con alambre o con sogas de fibras orgánicas o polipropileno cada 0.20 - 0.30 mts



Función

- **Captura y retiene las capas** superficiales de suelos
- **Apoya** El talud que está inmediatamente arriba de la fajina
- **Drena** El talud y **reduce la escorrentía superficial**
- **Mejora** El sitio al estabilizar las áreas y evitar la formación de cárcavas y barrancos.



Uso en Ingeniería

- Las hileras de fajinas crean una serie de barreras en el talud que disminuyen la velocidad de la escorrentía y atrapan sedimentos
- Son útiles en las zonas de socavación general y para proteger la orilla de ríos de la escorrentía.
- También proporcionan una técnica efectiva para la estabilización de taludes frente a deslizamientos superficiales y control de sedimentos,
- Reducen la longitud efectiva de la pendiente, ya que producen un escalonado de la misma, quedando dividida en tramos cortos por las fajinas.
- Fajinas colocadas por debajo del nivel del agua todavía puede proporcionar una cierta protección contra la erosión del pie del talud, pero las plantas no crecerán.

Condiciones en el sitio

- Esta clase de obras es utilizada en obras de poca pendiente.
- En lugares donde la fuerza de arrastre del agua es pequeña.

- Si se utilizan en suelos muy erosionables, el diámetro de la fajina debe ser de 12-24 pulg, de diámetro. Sino se debe proteger la base con rocas, en los casos mas extremos o con se debe proteger la base de las fajinas con

Materiales

Ramas deben ser largas, rectas y flexibles y provistas de yemas de crecimiento, provenientes de árboles entre 1 a 4 años de edad.

Palas

Machete

Mecate

Estacas de 1 m de longitud y diámetro

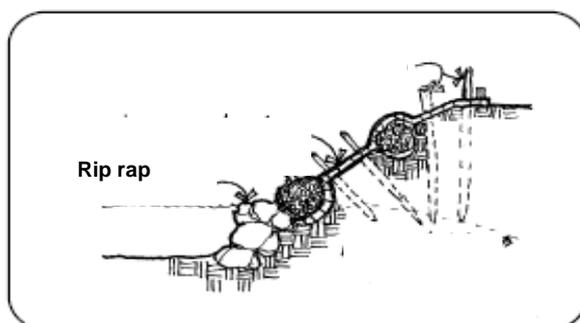
Martillo

Pasos para la Construcción

1. Se construye una zanja a una profundidad aproximada de 20 centímetros en el contorno del talud, siguiendo las líneas de nivel, con una pequeña pendiente para facilitar el drenaje.
2. Colocar las fajinas semienterradas en las zanjas.
3. Fijar la fajina al suelo con estacas de madera. Las estacas se hincan en tal forma que debe quedar un espacio de estaca libre por encima del nivel superior de la fajina
4. Las estacas pueden ser vivas o inertes de acuerdo al sistema de cobertura vegetal que se desee, con una longitud entre 0.5 a 0.75 m
5. Después de que las fajinas se aseguran con estacas, la zanja se rellena con suelo mixto (arena, grava, arcilla) firmemente empacado. Donde las fajinas se traslapan se debe reforzar con estacas
6. Las fajinas en el pie del talud, son fijadas por medio de enrocado (rip rap) u hormigón para evitar que el agua las levante.
7. Entre hileras de fajinas se debe sembrar vegetación, pastos, etc., utilizando semillas o mateado.

TABLA 9.3 Espaciamientos recomendados para fajinas (Gray y Sotir, 1996).

Pendiente (nH:mH)	Distancia entre zanjas de fajinas (metros)	
	En líneas de igual nivel	Con pendiente para drenaje
1:1 a 1.5:1	1.0 a 1.2	0.6 a 1.0
1.5:1 a 2:1	1.2 a 1.5	1.0 a 1.5
2:1 a 2.5:1	1.5 a 1.8	1.0 a 1.5
2.5:1 a 3:1	1.8 a 2.4	1.2 a 1.5
3.5:1 a 4:1	2.4 a 2.7	1.5 a 2.0
4.5:1 a 5:1	2.7 a 3.0	1.8 a 2.4



4. Fajinas de drenaje

Descripción

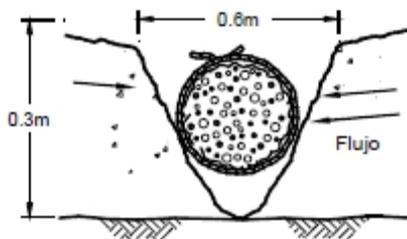
Las fajinas son manojos semicilíndricos de ramas o de hierbas de diámetro 0.20 y 0.40 mts., y longitudes entre 2 y 9 mts; atadas con alambre o con sogas de fibras orgánicas o polipropileno cada 0.20 - 0.30 mts

Función

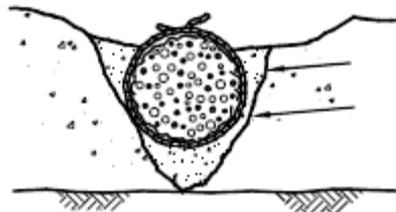
Las fajinas vivas pueden utilizarse como subdrenes subsuperficiales para controlar las aguas de escorrentía.

Pasos para la Construcción

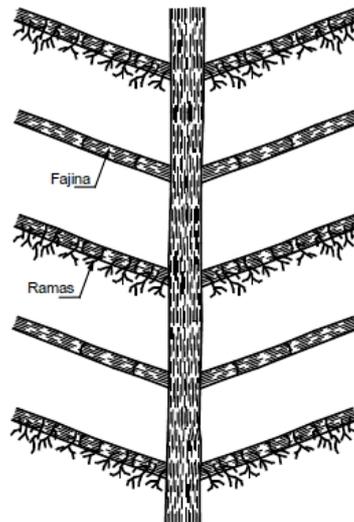
1. El sistema consiste en excavar zanjas en forma espina de pescado. Una zanja principal con brazos que conectan a zanjas secundarias. Generalmente se construyen de abajo hacia arriba y los ángulos laterales varían entre 20° y 45°.
2. La zanja central o principal tienen una profundidad de hasta 50 centímetros.
3. Las zanjas secundarias una profundidad de 20 a 30 cm y 60 cm de ancho.
4. El espaciamiento entre zanjas laterales varía de 1.0 a 2.5 metros, en forma generalmente paralela y con longitudes entre 3 y 8 metros.
5. Las zanjas se llenan con fajinas vivas a todo lo largo,
6. Fijar las fajinas con estacas
7. Rellenar las zanjas con suelo, y alrededor de las fajinas.
8. Los drenes centrales pueden rellenarse con varias fajinas, dependiendo del largo de la zanja.



Excavar zanja

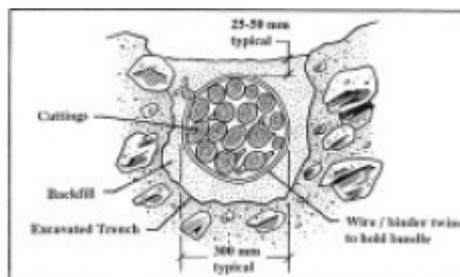
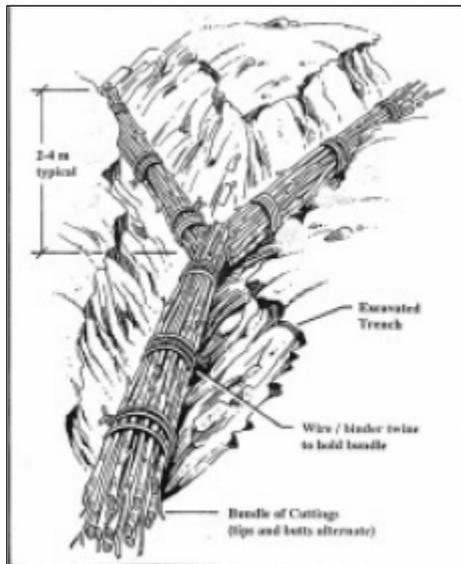


Rellene con suelo



Variaciones o combinaciones

- Dentro de esta categoría de subdrenes de fajinas están los subdrenes de bambú los cuales generalmente se colocan sobre una tela o membrana permeable a profundidad hasta de un metro.
- Los muros de enfajinados se componen de capas horizontales de fajinas entrelazadas, colocando las capas superpuestas consecutivamente. Después de cada capa de fajinas se le coloca una carga de piedra o grava con un espesor de 0.20 a 0.30 mts.



5 Mini Barreras Vivas de Control

Descripción

Una minipresa viva de control de erosión se construye con plantas vivas y materiales locales. Una presa de control de este tipo es porosa y su principal objetivo es *reducir la pendiente efectiva en una fisura o cárcava y así disminuir la velocidad del agua*.

Función

-Atrapa El sedimento que baja por una cárcava o fisura

-Retiene El material erosionado que se deposita detrás de la presa de control

-Refuerza El costado de la fisura o cárcava

Reduce: La velocidad del agua

Usos de ingeniería

.-Impedir que las fisuras se conviertan en grandes cárcavas.

.-Reparar pequeñas cárcavas con una profundidad máxima de 1 m y un ancho máximo de 2 m.

.-Reducir la cantidad de material erosionado de fisuras y cárcavas que llega a un sitio de disposición de escombros y que de otra manera entraría en los canales de desagüe naturales.

.-Fortalecer canales de drenaje naturales en alcantarillas y sitios de descarga de las cunetas.

Condiciones en el sitio

.-Lechos de cárcavas hasta de 40°.

.-El tratamiento de las cárcavas que se forman en taludes de relleno compuestos por material no consolidado que es susceptible a la erosión.

.-El tratamiento de las cárcavas que se forman en taludes de corte compuestos por escombros consolidados o matriz de roca arcillosa.

Materiales

- Estacas de madera dura de **1 a 2 metros de largo y 60 – 120 mm** de diámetro de, por ejemplo, *Gliricidia sepium* (Madero negro) y *Eritrina corallodendrum* (Elequeme).
- Tallos largos de *Pennisetum purpureum* (pasto elefante) para presas de control livianas y pequeñas.
- *Bambusa vulgaris* (Bambú) tallos de 2 - 3 años
- Pastos robustos, como *Vetiveria zizanioides* (vetiver), con raíces fibrosas para reforzar los costados de las cárcavas
- Maleza y piedras angulares para rellenar

Pasos para la construcción

1. Recorte los taludes de la cárcava si son demasiado empinados. Cualquier exceso de material suelto que quede, bótelos aguas arriba de la presa de control.

2. Prepare fardos de 4 o 5 estacas de madera dura, alternando las estacas de manera que los extremos inferiores de algunas de las estacas queden adyacentes al extremo superior de otros.

3. Coloque el fardo de estacas en el costado de la cárcava a una profundidad de 300-500 mm y compacte el material alrededor del fardo.

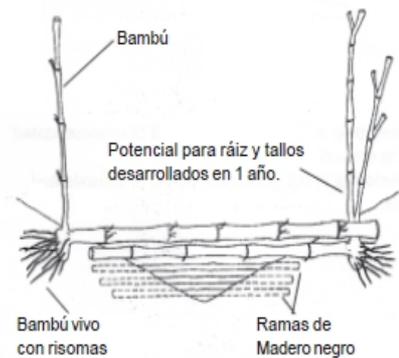
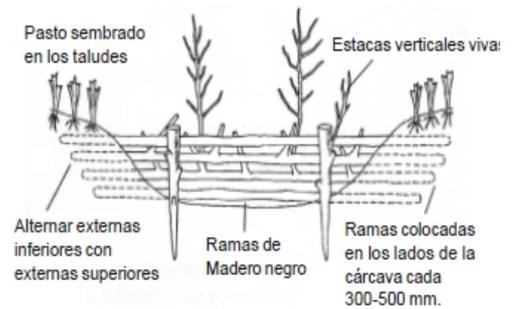
4. Asegúrese de que haya un buen contacto entre las estacas y el lecho de la cárcava ya que es allí donde se desarrollará la raíz de refuerzo

5. Asegúrese de que el centro de la presa de control está más abajo que los costados. Esto asegurará que el refluo se canalice por el centro de la cárcava lo que evitará socavación en los costados.

6. Rellene el área detrás de la presa con maleza local y piedras angulares. Siembre retoños o esquejes aguas arriba de los costados de la cárcava.

7. Calcule la distancia entre las presas de control (dependiendo de la pendiente del lecho de la cárcava y los niveles de erosión. Donde la erosión constituya un problema, las presas se pueden colocar en una cárcava a intervalos de 2-3 metros.

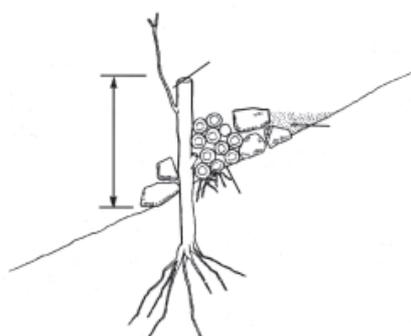
Es preferible colocar numerosas presas pequeñas y no unas pocas presas grandes.



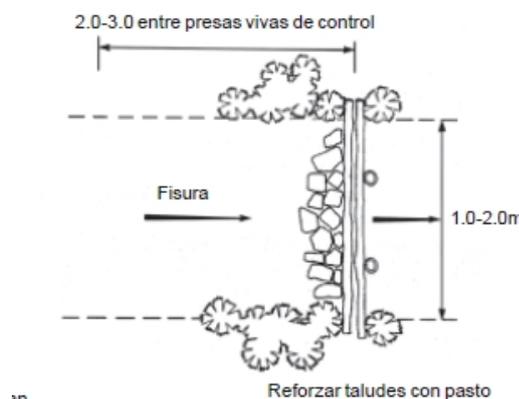
Presa de control mixto de Bambú y Madero negro

Herramientas

- Barra
- Cutacha/ machete
- Alambre de amarre
- Pala o piocha
- Nivel y mecate



Vista lateral



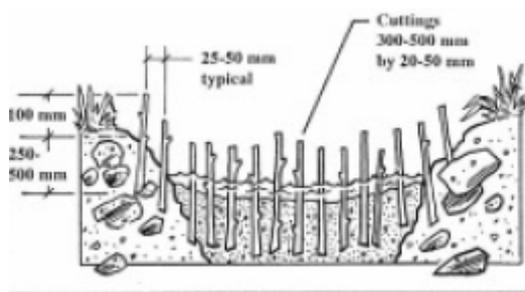
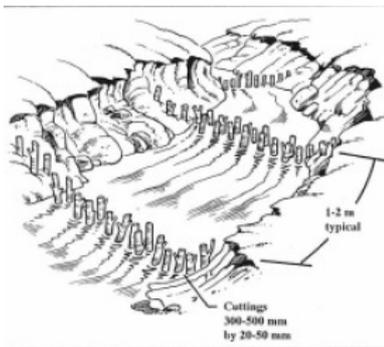
Vista de planta

Especies que se utilizan

- *Bambusa vulgaris* (Bambú),
- *Gliricidia sepium* (madero negro),
- *Pennisetum purpureum* (pasto elefante),
- *Vetiveria zizanioides* (pasto vetiver),
- *Erythrina corallodendrum* (Elequeme).

Variaciones o combinaciones

- En una mini presa viva de control se pueden utilizar recortes de diferentes especies
- La vegetación se puede utilizar en combinación con presas de control hechas con gaviones o mampostería para proteger las paredes laterales y los costados de las cárcavas. O solamente postes de madera colocados a lo ancho de la cárcava o arroyo, verticales u horizontales, en este caso también contribuye a reducir la velocidad de las corrientes y depositar sedimentos.
- En cárcavas más anchas, se puede utilizar alambre galvanizado para ayudar a amarrar las ramas verticales y horizontales.



6. Barrera Densas vivas

Descripción

Una barrera densa forma un denso entorno que se establece a lo largo del talud utilizando material que tiene la capacidad de propagarse a partir de estacas de madera dura colocadas horizontalmente o gramíneas. Las barreras densas pueden soportar pequeños movimientos superficiales del talud y son fuertes en la tensión a lo ancho del talud.

Función

- **Captura** Material con un diámetro >100 mm que baje por el talud
- **Apoya** El talud que está inmediatamente arriba de la barrera
- **Drena** El talud utilizando barreras densas colocadas a 90° en el contorno del talud
- **Refuerza** El material del talud mediante una red de raíces
- **Protege** La superficie del talud del impacto de la lluvia mediante una densa y baja barrera
- **Mejora** El sitio al estabilizar las áreas y permitir la colonización natural.

Área de uso

- Fortalecer los costados de las cárcavas y las áreas vulnerables debajo de los sitios de descarga de las alcantarillas
- Protege los drenajes para que no se bloqueen con rocas pequeñas desde arriba del talud.
- Rehabilitar los sitios de disposición de desechos
- Estabilizar los taludes rellenos
- Controlar los movimientos superficiales de <300 mm de profundidad en taludes de corte en material suave.

Condiciones en el sitio

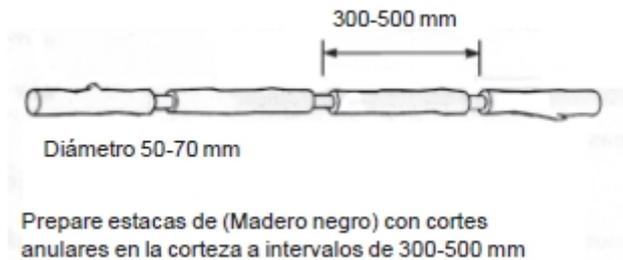
- Las barreras de *Gliricidia sepium* (madero negro) son más eficaces en suelos granulares bien drenados o en material de desecho con compactación suelta.
- Utilizar en pendiente de talud de hasta 30°. Pueden construirse en taludes más empinados pero no es aconsejable tener árboles sin manejo en taludes muy empinados debido al exceso de carga en el talud y el riesgo de colapso. Si se utilizan en taludes más empinados la barrera se puede podar o descopar.
- Las barreras de *Pennisetum purpureum* (pasto elefante o King Grass) se pueden utilizar en taludes pronunciados de hasta 45°.

Materiales

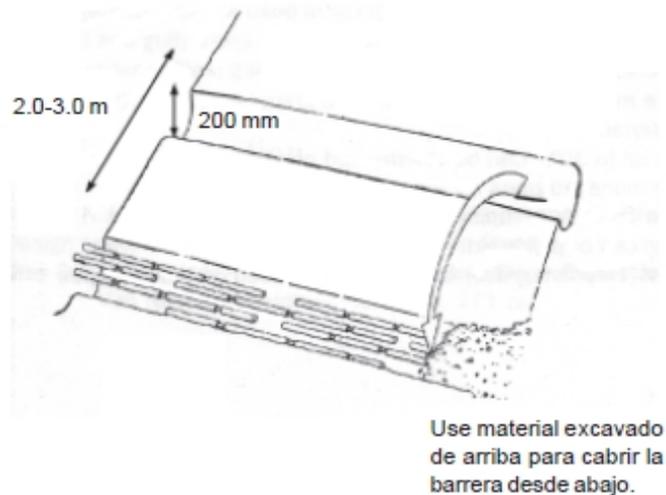
- Estacas de *Gliricidia sepium* (madero negro) con un diámetro de 60-12 mm, y entre 1 a 2 m de largo, con cortes anulares en la corteza a intervalos de 300-500 mm.
- Se necesitan 4 m de estacas de madero negro por metro corrido de zanja.

Pasos para la construcción

1. Establecer un contorno a lo largo del talud.
2. Preparar estacas de madero negro (véase la especificación D). Haga un corte anular en la corteza de las estacas a intervalos de 300-500 mm para estimular el crecimiento de raíces a lo largo del tronco. Prepare manojos de 4-5 y consérvelos en un lugar fresco y sombreado hasta que los utilice

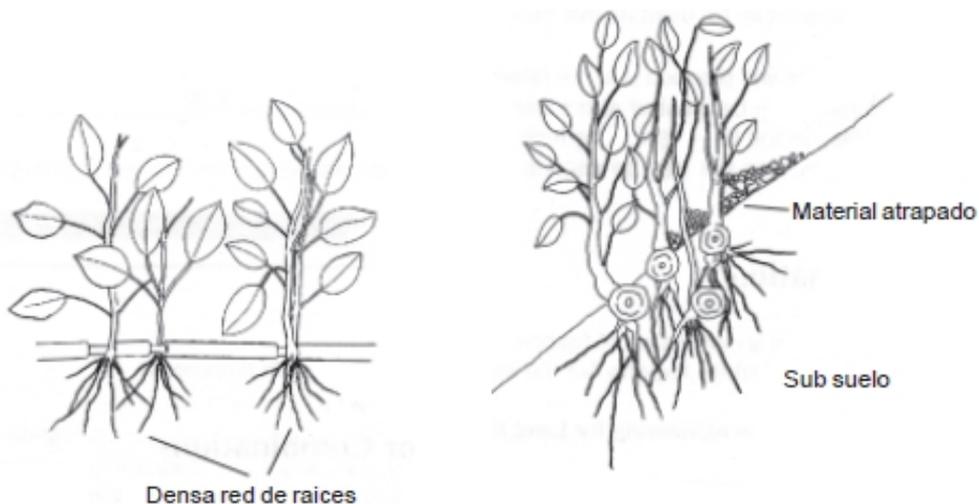


3. Prepare una zanja de unos 200 mm de profundidad en el contorno del talud.



4. Para conservar la humedad del suelo no abra grandes áreas de zanja antes de que las estacas estén listas para colocarlas a lo largo del contorno
5. Coloque los manojos de estacas en la zanja. Asegúrese de que hay traslape entre los manojos de estacas.

A un año



6. En la parte basal de cada estaca crecerán raíces y también en los lugares donde se ha hecho el corte anular en la corteza de la estaca. Para que la barrera sea lo más fuerte posible no debe haber traslape en estos puntos donde están las raíces más fuertes.

7. Cubra las estacas con 100 mm de tierra como máximo.

Herramientas

- Mecate,
- estacas
- nivel para hacer el contorno.
- Machete
- Palas/ piocha

Especies

Gliricidia sepium (Madero negro),
Pennisetum purpureum (pasto elefante)

Variaciones o combinaciones

- Las barreras densas de *G. sepium* (madero negro) se pueden utilizar en combinación con la siembra de pasto.
- Las barreras densas de *G. sepium* (madero negro) se pueden utilizar como mini presas vivas de control en pequeñas cárcavas y grietas profundas.
- Las barreras densas de *G. sepium* (madero negro) producen raíces laterales superficiales.
- Las plántulas de árboles y arbustos que producen raíces primarias pueden sembrarse al mismo tiempo. La posterior variación en la profundidad de las raíces realzará las funciones de bioingeniería de la barrera.

7. Barrera de Piedra Intercalada con Vegetación

Descripción

Una capa de piedras, bolón y pequeñas rocas cuidadosamente colocada para prevenir la erosión y socavación de la superficie.

Función

- **Refuerza** A una profundidad de 300 mm por debajo del rip rap* (componente de vegetación * rip-rap – geotextil (puede ser Yute o bramante) y piedra para prevenir erosión.
- **Protege** La superficie del suelo previniendo así la erosión superficial (componente de piedra)
- Proteger de la erosión la base de un talud.
- Proteger de socavación la base de un barranco.
- Proteger de la socavación el sitio de descarga de la alcantarilla.
- Proteger de la erosión superficial los hombros elevados de las carreteras.

Condiciones en el sitio

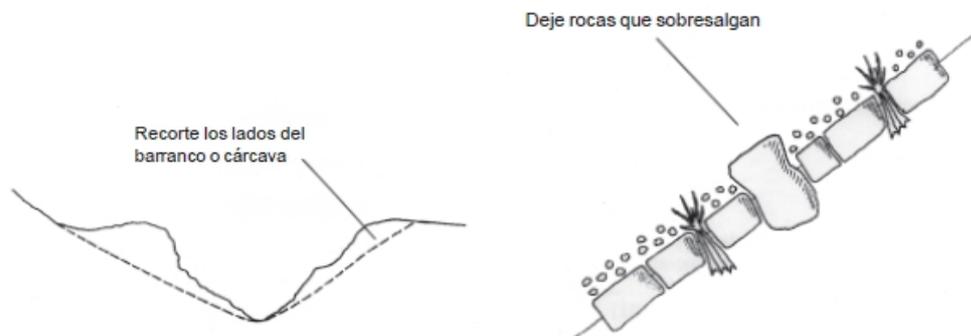
- Taludes de un máximo de 30°.
- Donde el uso de piedras y rocas es eficaz con relación al costo.

Materiales

- Piedra angular o subredondeada de buena calidad con un tamaño aproximado de 100 mm de fondo x 300 mm x 300 mm.
- Plántulas de pasto – semilla o retoño, por ejemplo, Panicum maximum (retoños de pasto guinea) o de Vetiveria zizanioides (vetiver).
- Estacas de madera dura de 400-900 mm de largo (incluidos al menos dos nudos en cada corte) y con un diámetro de unos 80 mm, por ejemplo, Gliricidia sepium (madero negro).

Pasos para la construcción

- 1 .Prepare la superficie del talud, el lecho del barranco o el hombro del camino, para crear una superficie plana.



2. No retire ninguna roca o piedras que sobresalgan en la superficie y construya la barrera de piedra a su alrededor.
3. Coloque sobre el talud una capa de 10 mm de material granular de libre drenaje.
4. Con cuidado coloque las piedra sobre el área que se va a proteger. Asiente bien cada piedra en la superficie. Minimice los espacios entre las piedras recortando la piedra cuando sea necesario.
5. Rellene los espacios entre las piedras con tierra y siembre pasto a una distancia de 150 mm entre plantas.
6. También se pueden utilizar estacas vivas entre las piedras a intervalos de 1.5 m. Si la barrera de piedra se utiliza en el lecho de un barranco, use estacas de madera vivas sólo en el borde del lecho y no en el medio ya que esto puede interrumpir el flujo de agua (véase el párrafo sobre variaciones o combinaciones).
7. Asegure sembrar el pasto y las estacas vivas a suficiente profundidad de manera que las raíces penetren el material que está debajo de la base de rip rap.

Herramientas

- Barra para siembra
- Machete
- Pala
- Pata de chanco

Especies

- Vetiveria zizanioides (Vetiver),
- Panicum maximum (pasto guinea),
- Gliricidia sepium (madero negro).

Variaciones o combinaciones

- Si se utiliza una barrera de piedra para proteger o fortalecer el lecho de un barranco, evite el uso de plantas leñosas en el centro del lecho ya que esto puede desviar el flujo del agua hacia los lados de las márgenes del barranco causando socavación.
- Coloque la vegetación de forma escalonada; el pasto corto en el medio del lecho, los pastos apiñados cerca de los bordes, y la vegetación leñosa en el borde.

Manejo

Control de Maleza: Cualquier planta que no haya crecido

Resiembra: Inspeccione con frecuencia después de lluvias fuertes para detectar piedras dañadas o desplazadas

Descope A 1.5-2.0 m cada 3-5 años

Desrame Para mantener vigor cada 3 años

8. Barrera de Pasto para Atrapar la Sedimentación

Descripción

Las barreras de pasto para atrapar la sedimentación constituyen un método eficaz para impedir que el material que baja por el talud llegue a un drenaje o a un cauce.

Función

Captura El material que baja por el talud.

Apoya Al detener en la base del talud el material erosionado suelto

Refuerza El suelo encima del drenaje

Protege El talud encima del drenaje y la base del talud

Usos en ingeniería

- Encima de los desagües laterales
- Encima de los drenajes (cut-off drains)
- Alrededor de las alcantarillas o contra cunetas.
- Retener pequeñas rocas o pequeñas caídas de tierra

Condiciones en el sitio

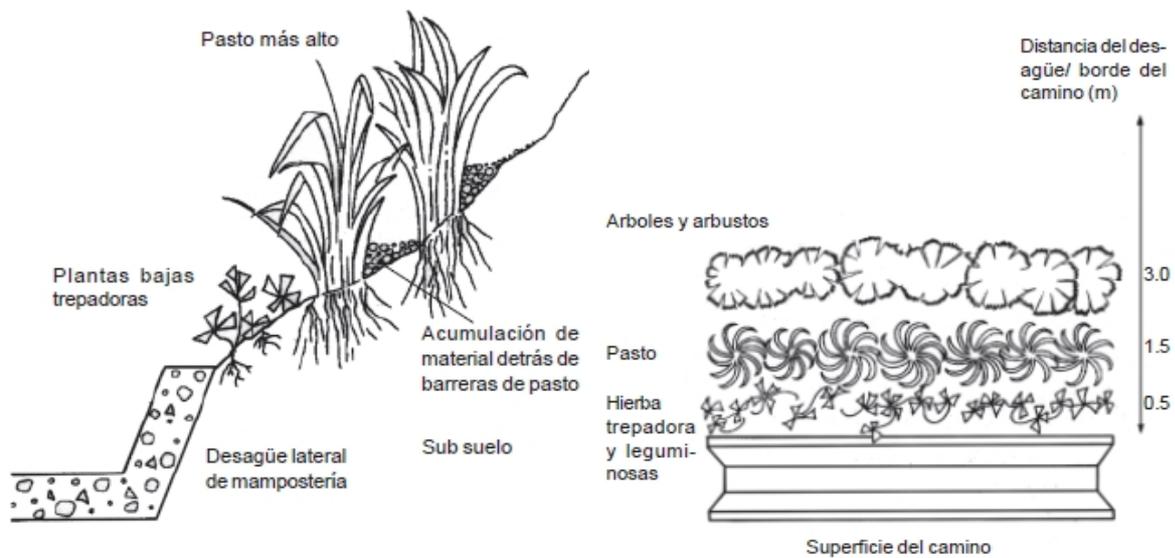
- Las especies que se recomiendan toleran una amplia gama de condiciones en el sitio.

Materiales

- Pasto robusto que forme una barrera y se recupere tras su enterramiento parcial, como tallos de pasto elefante y retoños de vetiver. Se requieren aproximadamente 12 plantas/ metro calculando 150 mm entre las plantas en doble hilera.

Pasos para la construcción

- Establecer una guía para la siembra paralela al desagüe o costado del camino.
- Sembrar una doble hilera de pasto con un espacio de 150 mm entre plantas en la fila y 200 mm entre las filas.
- Dependiendo de la gravedad del problema de erosión y del espacio disponible, se puede formar una barrera mas densa que incluya vegetación leñosa. Esto puede retener pequeñas rocas o pequeñas caídas de tierra.
- Las plantas de menor tamaño deben sembrarse mas allá del camino y los arbustos leñosos o los árboles deben sembrarse lejos del camino para evitar que interfieran con la visibilidad.
- Los pastos trepadores o de baja estatura se pueden sembrar entre el desagüe y la barrera de pasto.
- Rellene el área detrás de la presa con broza y piedras angulares que se encuentren en el lugar. Siembre retoños o esquejes de pasto en los costados río arriba de la hondonada.



Herramientas

- Mecate y estacas para establecer una guía.
- Machete
- Pala

Manejo

- **Abone:** Utilice los residuos de la poda detrás de la barrera
- **Resiembra :** después del 1er año
- **Descope** Cuando sea necesario
- **Desrame:** Cuando sea necesario

Especies

Vetiveria zizanioides (Vetiver), Panicum maximum (pasto guinea), Pennisetum purpureum (pasto elefante), pasto para cubrir el suelo como por ejemplo Pueraria thunbergiana (pasto kudzu), Gliricidia sepium (madero negro).

Variaciones o combinaciones

La inclusión de árboles y arbustos (véase arriba).

9. Control de la Erosión Superficial con Pasto Vetiver

Descripción

Sembrar densamente pasto vetiver en todo el talud. Esto refuerza y protege el talud contra el daño causado por la erosión superficial o del colapso no profundo de la superficie.

Función

Captura El material erosionado que baja por el talud.

Refuerza El talud a una profundidad de 300 mm con un denso tapiz de raíces fibrosas

Protege La superficie del talud del impacto de las gotas de lluvia e impide la socavación alrededor de las obras de ingeniería

Usos en ingeniería

- Proteger los taludes en el borde del camino.
- Rehabilita los taludes de corte colapsados.
- Vuelve a cubrir con vegetación los taludes de relleno.
- Proteger los hombros de las carreteras en pavimentos elevados.
- Uso eficaz en el empalme de una estructura de ingeniería con aristas como presas en mampostería.
- Muro de retención, o en el empalme de gaviones con el suelo.

Condiciones en el sitio

- El pasto vetiver tolera una amplia variedad de condiciones en el sitio.
- Puede crecer en subsuelos sin agregar capa vegetal o fertilizante.
- El pasto vetiver producirá extensos sistemas de raíces fibrosas en suelos de drenaje libre.
- Sobrevive en suelos compactados, suelos residuales y en roca
- desgastada pero su crecimiento es lento y los sistemas de raíces no son densos.
- El pasto vetiver no tolera la sombra.

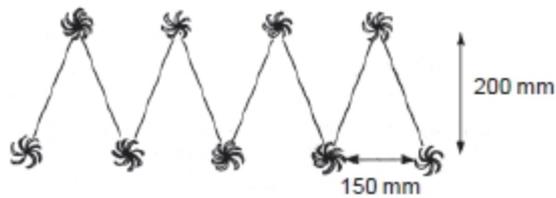
Materiales

- Retoños de pasto vetiver de buena calidad provenientes de un vivero o de áreas naturales

Pasos para la construcción

1. Prepare suficientes retoños de las matas para un día de trabajo.
2. Mantenga en la sombra los retoños preparados hasta que los vaya a sembrar. No permita que los retoños se resequen en el sol o con el viento.
3. Si el pasto vetiver se cultivó en bolsas de polietileno, retire el polietileno antes de sembrar.

4. Prepare un hueco para la siembra de unos 70-100 mm de profundidad y 50 mm de ancho.
5. El hoyo debe ser de tamaño suficiente para colocar el retoño de vetiver sin doblar las raíces
6. Asegúrese de rellenar el hoyo y de compactar la tierra firmemente alrededor del retoño de pasto.
7. Si se jala el retoño suavemente entre el pulgar y el índice aquel no debería salir de la tierra.
8. Distancias de siembra de vetiver.



El espacio de siembra depende del talud

Manejo

Divida Utilice los retoños como material de siembra

Abone Utilice los residuos de la poda y Controle la maleza que compite con el pasto

Reparación : A 40 cm para mejorar vigor

Descope: cada año

Especies

- Vetiveria zizanioides (pasto Vetiver)

Variaciones o combinaciones

Para evitar raíces de una sola profundidad en un talud se recomienda mezclar las especies en la que cada una tenga una forma de raíz diferente. Árboles y arbustos pequeños y medianos adecuados para sembrar en un talud incluyen el *Gliricidia sepium* (madero negro), *Leucaena leucocephala* (*Leucaena*), *Calliandra calothyrsus* (*Caliandra*), y *Psidium guajava* (*guayaba*).

El *Vetiveria zizanioides* (pasto Vetiver) es muy competitivo y afectará la tasa de crecimiento de los árboles sembrados a su alrededor. Se debe dejar despejada un área de 100 cm en diámetro alrededor de los árboles y arbustos que se siembre en conjunto con pasto vetiver.

10. Sampeado de Piedra con Vegetación

Descripción

Fortalece la base del talud para prevenir la erosión y la socavación que pueden conducir a un retraimiento gradual del talud.

Crea una barrera fuerte en la base del talud y atrapar el material de erosión de la parte superior del talud para que no entre al desagüe.

Función

Captura El material erosionado que baja por el talud.

Apoya Al detener el material suelto erosionado en la base del talud.

Refuerza El material en la base del talud.

Protege La base del talud previniendo erosión en la base.

Mejora El suelo y las condiciones de crecimiento en la base del talud utilizando el material podado como abono.

Usos en ingeniería

- En la base de los taludes de corte o taludes de relleno consolidados.
- No es adecuado para taludes de relleno sueltos y no consolidados.
- Proteger el desagüe lateral de la erosión o del desmoronamiento de desechos.

Condiciones en el sitio

- Material altamente erosionable, especialmente con un alto contenido de arena o limo.
- Tolerancia a una amplia gama de condiciones de suelo.
- No es apropiado para material arcilloso pesado, mojado, profundo con tendencia a desplomarse.

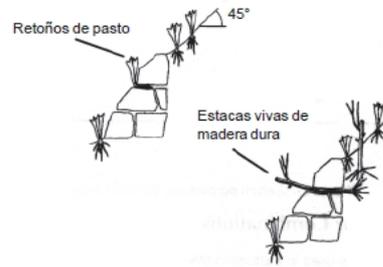
Materiales

- Rocas angulares o Bolón
- Plantas de pasto (retoños o plántulas) como Vetiveria zizanioides (pasto Vetiver)
- Estacas de madera dura de Gliricidia sepium (madero negro) (si se requiere estacas).
- Plántulas de árboles pequeños y arbustos si es necesario sembrar.
- Nivel y mecate.

Pasos para la construcción

1. Seleccione rocas duras y angulares para construir la base de la pared de piedra.
2. Limpie la base del talud de cualquier desecho.
3. Haga un ligero corte en la base del talud para formar una grada en la cual colocar las rocas angulares.

4. Construya un sapeado de piedra de unos 300-500 mm de alto con una base de 300 mm.
5. Coloque la piedra en la parte trasera del talud a un ángulo de 5° de la vertical.
6. A medida que va construyendo el sapeado de piedra coloque retoños de pasto en los espacios entre las rocas asegurando que la raíz del pasto queda en el subsuelo



Manejo

Resiembra: Mantenimiento anual general

Reparación : A 90 cm, cada 3-5 años

Herramientas

- Barra para sembrar
- Machete
- Martillo de mampostería para recortar las piedras
- Pata de chancho.

Especies

Vetiveria zizanioides (Vetiver), Pennisetum purpureum (pasto elefante) y Gliricidia sepium (madero negro).

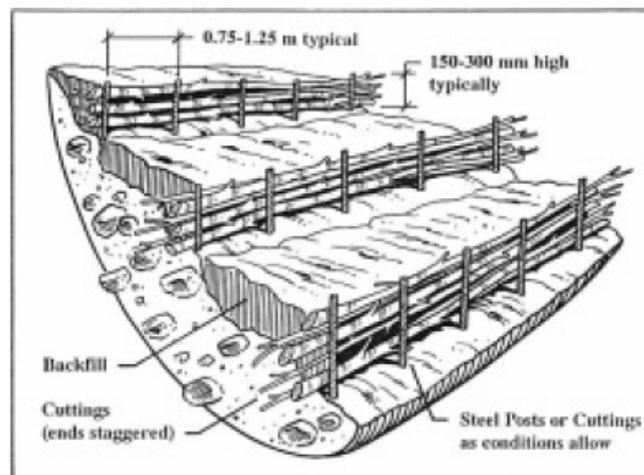
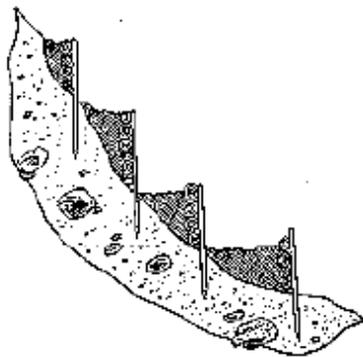
Variaciones o combinaciones

- Si la técnica se utiliza en una situación que no sea adyacente al camino, por ejemplo en un barranco lateral, se pueden incorporar árboles en el diseño y se pueden manejar de forma regular.
- El ingeniero puede decidir sembrar estacas o plántulas de madera dura entre las rocas a una distancia de 1.0 a 2.5 m. Los árboles y arbustos formarán una barrera muy fuerte y pueden descoparse a una altura de 400-900 mm para lograr una densa red de ramas.

11. Vallas de retención (Wattle fence)

Descripción

Estructuras de control de la erosión y sedimentos construidas a partir de tallos / troncos de arbustos vivos que seguir creciendo una vez colocadas en el suelo o estacas no germinables.



Función

- Para estabilizar la producción de sedimentos y detener la erosión en las laderas
- Para evitar la erosión de su estructura física hasta que las plantas establecidas pueden proporcionar protección contra la erosión permanente
- Para poner en marcha el establecimiento de auto-sostenible la vegetación en las laderas y barrancos expuestos
- Reduce la pendiente efectiva
- Son útiles para reforzar zonas de pendiente inclinadas y taludes de relleno, donde el exceso de humedad podría generar deslizamientos rotacionales

Condiciones del sitio

SÍ: Las áreas de tierra removida o laderas, arroyos y riberas del lago, y donde la estabilización del suelo y control de la erosión es necesario debido a la escorrentía de aguas pluviales o la tabla de agua.

NO recomendable en zonas donde hay grave contaminación de los suelos o del agua, y no puede ser controlado el tráfico de humanos o el tráfico de animales, o cuando la sombra es demasiado densa para que las especies seleccionadas puedan prosperar.

Materiales

- Estacas de madero negro,
- estacas de madera,
- cordeles y cuerdas,
- material vegetal

Herramientas

pala,
martillo

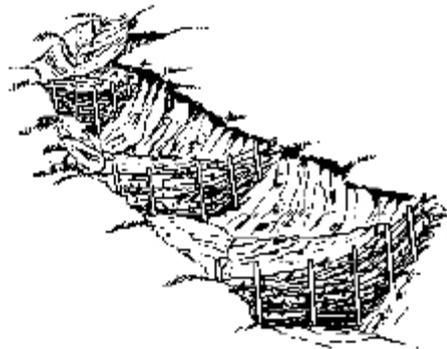
Pasos para la construcción

- Se construye de la base de la pendiente hacia la el tope de la ladera

1. Prepare estacas de madera dura, que serán colocadas cada 0.75 a 1.25 m,
2. Coloque las estacas usando un nivel de mano en todo el ancho de la ladera, conforme las curvas de nivel, insértela a una profundidad de 50 cm y compacte el material alrededor de cada estaca. Quedara por fuera entre 30 cm a 50 cm.
3. Coloque troncos de madero negro u otra especie horizontalmente y sujete firmemente a los postes con alambre o cuerdas. (mecates). También puede colocar ramas entrenzadas de bambú, u otra especie.
4. Rellene el área detrás de la valla con maleza local y piedras angulares. Siembre retoños o esquejes aguas arriba.
5. Calcule la distancia entre las vallas (dependiendo de la pendiente del lecho de la cárcava y los niveles de erosión. Donde la erosión constituya un problema, las vallas se pueden colocar en intervalos de 2-3 metros.

Variaciones o combinaciones

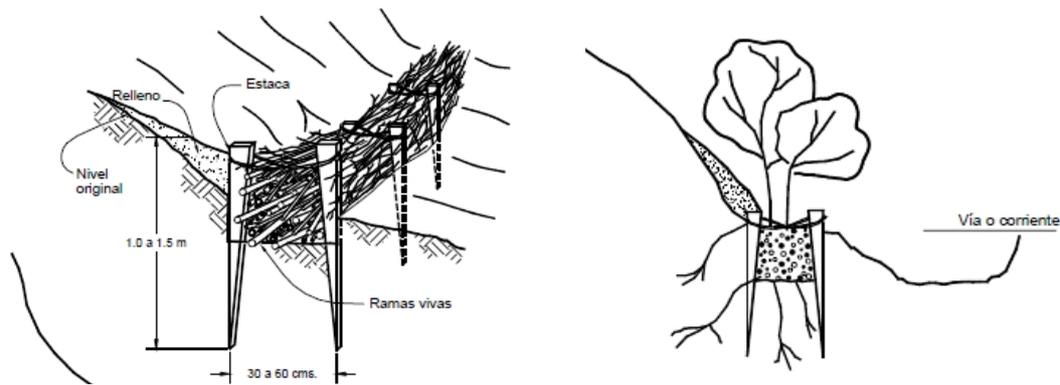
Live Gully fence: Barreras entramadas construidas transversal a las cárcavas o canales de erosión. Están diseñadas para controlar el inicio o cabecera reduciendo el gradiente efectivo del canal de erosión. Son muy similares a las anteriores, solamente que cubren todo el ancho de las cárcavas.



Source: Polster Environmental Services

Cajas de ramas: Este sistema consiste en la construcción de barreras en forma de cajón longitudinal utilizando ramas las cuales se sostienen lateralmente con estacas enterradas que siguen creciendo una vez colocadas en el suelo. Estos cajones requieren de una excavación muy pequeña, pero es importante colocar un relleno arriba de ellos.

Su función es la de Control y retención de sedimentos y de la erosión



Materiales

- Ramas de longitudes de 2 a 4 metros y hasta 1 ½" de diámetro.
- Estacas con una longitud aproximada de un metro y se entierran mínimo 50 centímetros.
- Alambre calibre BWG 9 para amarrar entre sí la parte superior de las estacas y ayudar en esta forma a garantizar la estabilidad interna del cajón.



Terraza de estabilización

Anexos 1 Listado de árboles que se reproducen por estaca y que son utilizados para estabilización de taludes Colombia.

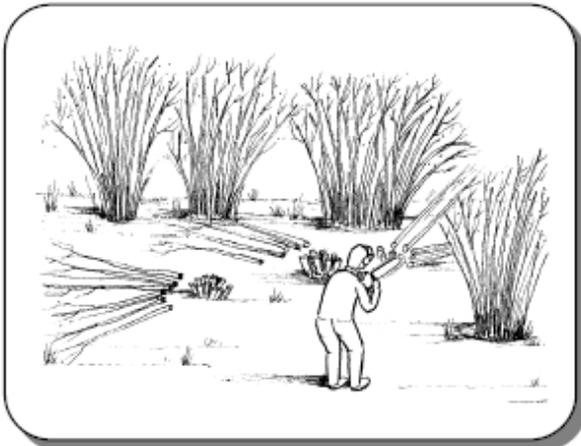
Tabla 8.6 Árboles utilizados para cercas vivas y estabilización de taludes (CDMB 1989)

Nombre común	Nombre científico	Distancia de plantación
Aliso	<i>Alnus jorullensis</i>	2 a 3 m.
Anaco	<i>Erythrina poeppigiana</i>	2 a 3 m.
Aro	<i>Trichantera gigante</i>	1.5 a 3 m.
Arrayán	<i>Myrcia popayanensis</i>	1.5 a 3 m.
Balso	<i>Ochroma pyramidale</i>	2 a 3 m.
Búcaro	<i>Erythrina fusca</i>	2 a 3 m.
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	2 a 3 m.
Chachafruto	<i>Erythrina edulis</i>	1.5 a 3 m.
Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i>	2 a 3 m.
Eucalipto globulus	<i>Eucalyptus globulus</i>	2 a 3 m.
Eucalipto grandis	<i>Eucalyptus grandis</i>	2 a 3 m.
Guacimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2 a 3 m.
Gualanday	<i>Jacaranda caucana</i>	2 a 3 m.
Guamo macheto	<i>Inga densiflora</i>	1.5 a 3 m.
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	1.5 a 3 m.
Mataratón	<i>Gliricidia sepium</i>	1.5 a 3 m.
Melina	<i>Gmelina arborea</i>	2 a 3 m.
Nauno	<i>Pseudosamanea guachapele</i>	2 a 3 m.
Pino oocarpa	<i>Pinus oocarpa</i>	2 a 3 m.
Pino Pátula	<i>Pinus patula</i>	2 a 3 m.
Roble	<i>Quercus humboldtii</i>	2 a 3 m.
Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	2 a 3 m.
Urapán	<i>Fraxinus chinensis</i>	2 a 3 m.

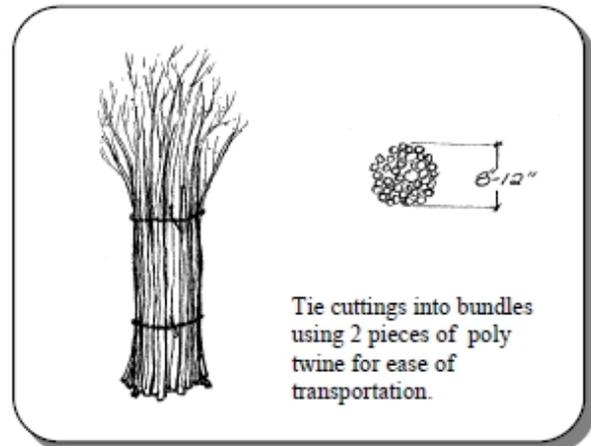
Especies para bioingeniería en el Caribe

A. Especies principales	B. Especies secundarias
<p>Pastos</p> <p>Vetiveria zizanioides (pasto vetiver) Pennisetum purpureum (pasto elefante) Cynodon dactylon (pasto bermuda) Penicum maximum (pasto guinea) Bambusa vulgaris (bambú)</p>	<p>Pastos</p> <p>Androgon intermedius var. Acidulus (pasto amargo / zacatón) Cymbopogon citratos (Zacate de limón) Digitaria decumbens (pasto Pangola) Tripsacum laxum (pasto Guatemala) Zoysia tenuifolia (Zoysia)</p>
<p>Arbustos y árboles</p> <p>Azadirachta indica (Neem) Gliricidia sepium (Madero negro) Calliandra calothyrsus (Calliandra) Leucaena leucocephala (Leucaena) Haematoxylum campechianum (palo campeche) Psidium guajava (Guayaba)</p>	<p>Arbustos y árboles</p> <p>Acacia auriculiformis Acacia Senegal Acacia mearnsii (Black wattle) Albizia lebbeck (lengua de suegra) Caesalpinia decapetela (Wait-a-bit) Erythrina corallodendrum (helequeme) Cajanus caja (gandul) Hibiscus rosa-sinensis (Shoe-black) Mangifera indica (Mango) Moghania strobilifera (Wild hops) Spondias mombin (jocote silvestre) Trichanthera gigantean (Nacadero) Zizyphus mauritania</p>
<p>Leguminosas rastreras</p> <p>Arachis pintoi (maní forrajero) Centrosema pubescens (Centrosema) Teramnus labiales Neonotonia wrightii</p>	<p>Leguminosas trepadoras</p> <p>Desmodium spp (desmodium) Lablab purpureus (frijol terciopelo) Puerraria thunbergiana (pasto Kudzu)</p>

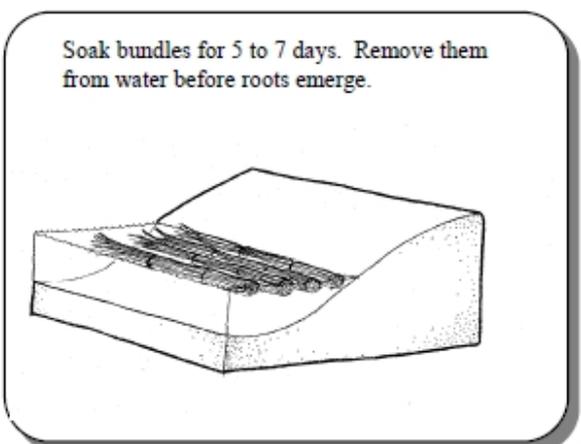
Anexo 2. Procedimiento para hacer las fajinas



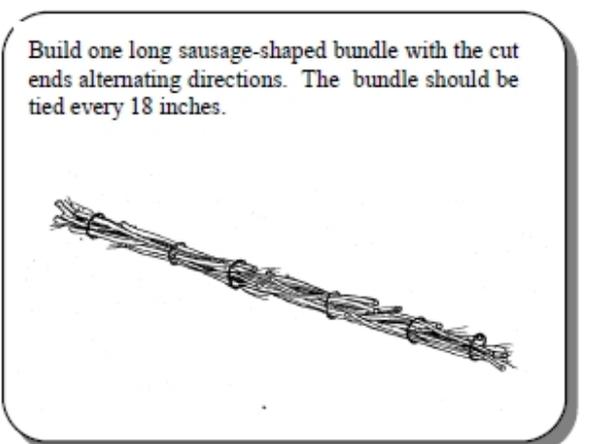
Paso 1 **Cortar las ramas**



Paso 2. **Amarrar en rollos con mecate o fibra vegetal**



Paso 3 **Remojar** de 5-7 días, mínimo 24 horas, sacar del agua antes que empecen a sacar raíces



Paso 4. **Construir fajina:** construir un rollo largo con las ramas con los extremos cortados en direcciones alternas El paquete debe estar amarrado cada 18 pulgadas.

Función ingeniería	Solución ingeniería	Posibles inconvenientes	Alternativa Bioingeniería	Solución Bioingeniería	Posibles inconvenientes	Solución óptima
Soportar masa de suelo débil, soportando el pie del talud, incrementando el peso en la base del talud	Muro de retención o gaviones	Costo, Condiciones de fundación y drenaje	Árboles, en la base de una pendiente puede prestar apoyo en forma de contrafuertes, o matojos de hierba puede respaldar pequeñas cantidades de la tierra por encima de ellos.	Revegetar con árboles el pie del talud	Árboles tardan en crecer y no dan una línea continua de soporte a lo largo del talud	Muros de retención vegetado con arboles
De anclaje de una masa de material débil, a través de planos de falla hasta los estratos más firmes.	Anclajes del suelo, y pilotes	Costo, diseño y construcción, y del material subyacente	Reforestación con árboles de raíces profundas y verticales	Arbustos y árboles con raíces muy profundas	Los árboles tardan mucho en desarrollarse y es imperdible el comportamientos de las raíces	Combinación de anclaje y árboles
Reforzamiento del suelo para reducir la deformación y para reducir fallas superficiales en suelos saturados	Sistemas de tierra reforzada	Reforzamiento de suelo artificial es complejo en su diseño y construcción.	Proveer una red de raíces que incremente la resistencia al corte	Barreras densas vivas, escalones de matorral, fajinas vivas, y algunos arbustos y árboles	Ninguno	Construir con capas de suelo intercalados con geotextil, y está sembrado de hierba
Drenar el exceso de agua de la pendiente, reducir la presión de poro, incrementar la resistencia y la cohesión	Drenaje sub superficiales o superficiales	Mantenimiento	Vegetación plantada en configuración que facilita el drenaje	Fajinas de drenaje		
Captar material erosionado	Cercas de retención y muros de retención	En pendientes escalonadas es inseguro construirlas	Escala micro: barreras densas de vetiver. Escalas más grandes: los arbustos con muchos tallos y bambúes	Ramas pueden cumplir esa función	Árboles tardan tiempo en crecer	Muro de retención vegetado

Anexo 3. Tabla Comparativa de técnicas Bioingeniería vs Ingeniería convencional

Bibliografía

1. **Sabo Methods and Facilities made of Natural Materials.** January 2000. Sabo Technical Center, JAPAN
2. **Restoration of landslides and unstable slopes using bioengineering techniques.** David Polster.
3. **Factores ambientales, funciones y uso de la vegetación para la estabilización de laderas.** Carmen Gonzáles y Carlos López.
4. **Bio-engineering techniques.** British columbia. Dec. 2004
5. **Streambank Soil Bioengineering. Nacional.** Engineering Handbook 2007
6. **Introducción a la Bioingeniería o Ingeniería Biológica.** P. Sangalli, Mercedes Valenzuela AEIP Asociación Española de Ingeniería del Paisaje
7. **Manual of control of erosion and shallow slope movement.** British Columbia.
8. **Introducing Bio-engineering to the Road Network of Himachal Pradesh.** J. H. Howell, S. C. Sandhu N. Vyas .Bio-engineering Consultant, The World Bank, Senior Environmental Specialist, The World Bank
9. **Soil Bioengineering Techniques,** Cap. V
10. **Soil bioengineering for upland slope stabilization.** Luisa Lewis ant others. Washington State Department of Transportation. Technical Monitor. February 2001
11. **Estrategias para el control y manejo de la erosión en cárcavas** Juan Diego León Peláez¹
12. **Experiencias en Bioingeniería implementando el uso del vetiver (*Vetiveria zizanioides*, (L) Nash) en diferentes localidades de Venezuela.** Ing. Agr. Carlos J Gomis S, Venezuela
13. **The practical streambank, bioengineering guide.** Gary Bentrup and J. Chris Hoag. 1998 USDA