

Compilación de documentos publicados por la Cooperación Suiza en América Central

MANUAL DE BIOINGENIERÍA

Reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Cooperación Suiza
en América Central**



Créditos

Esta es una publicación de la Oficina de Cooperación Suiza en América Central.

Compilación:

Ing. Miriam Downs S. 2010

Actualización e insumos 2013:

Linda Zilbert

Ing. Miriam Downs S.

Revisión de estilo:

Lic. Yaoska Cantón

Diseño y diagramación:

Lenin Lanzas

Copyright:

Oficina de Cooperación Suiza en América Central

Para más información dirigirse a:

Fabrizio Poretti

Oficina de Cooperación Suiza en América Central

Rotonda Jean Paul Genie 900 mts. abajo, 150 mts. al lago.

Managua, Nicaragua

Teléfono: (505) 22663010

Email: sdcmagua@sdc.net

Website: www.cosude.org.ni

Presentación

La Cooperación Suiza en América Central, a través de su Programa de Reducción de Riesgos de Desastres (PRRD) lleva más de 12 años acompañando a los gobiernos municipales, como promotores y facilitadores del desarrollo socioeconómico en el territorio, en la implementación de un modelo de gestión integral de riesgos con el fin de contribuir a la reducción de la vulnerabilidad de los más pobres frente a amenazas de origen natural y antrópico.

Como resultado, se han fortalecido las capacidades nacionales y locales en Honduras, Nicaragua y El Salvador, contribuyendo al establecimiento de buenas prácticas de gestión de riesgos, así como a la generación, promoción y aplicación de herramientas técnicas que favorecen la reducción de los riesgos de desastres y promueven la adaptación al cambio climático en territorios vulnerables.

Estas herramientas técnicas que han sido recientemente actualizadas, continúan siendo utilizadas por los socios del PRRD y múltiples actores públicos y privados, tanto en el ámbito académico como de la planificación sectorial y territorial del desarrollo en Centroamérica, principalmente en Nicaragua y en Honduras.

Con el ánimo de fortalecer el intercambio y la gestión de conocimientos así como difundir las buenas prácticas establecidas, la Cooperación Suiza en América Central pone a disposición de los Sistemas Nacionales de Reducción de Desastres, academia, instituciones y gobiernos municipales una **Caja de herramientas para la reducción de riesgos** que contiene 10 guías técnicas y metodológicas para la reducción de riesgos y la adaptación al cambio climático para ser aplicadas nivel de las instituciones, municipios, comunidades y familias.

Con esta publicación, la Cooperación Suiza, pone a disposición del público interesado- principalmente Sistemas Nacionales de reducción de desastres, municipios y academia el conocimiento generado en conjunto con los socios,-contribuyendo así al cumplimiento de las prioridades establecidas en el Marco de Hyogo, en particular la prioridad 3 enfocada en la gestión y difusión del conocimiento, la innovación y la educación para crear una cultura de seguridad y de resiliencia a todo nivel.

Contenido

Introducción	3
Parte 1. Una aproximación a la bioingeniería	5
1.0 ¿Qué es la bioingeniería?	
1.1 Técnicas de bioingeniería	7
2.0 Influencia de la vegetación en los taludes	11
2.1 Factores positivos y negativos de la vegetación	15
2.2 Características de las raíces	15
2.3 Acción de refuerzo de las raíces	17
2.4 Limitaciones de la protección vegeta	20
3.0 Selección de especies vegetales	21
4.0 Ventajas de la bioingeniería vs estructuras de ingeniería civil	23
Parte 2. Técnicas de bioingeniería	25
1. Estacas vivas	28
2. Escalones de matorral/Capas de ramas	30
3. Fajinas (Wattles)	37
4. Fajinas de drenaje	41
5. Mini barreras vivas de control	43
6. Barreras densas vivas	49
7. Barrera de piedra Intercaladas con vegetación	53
8. Barrera de pasto	56
9. Control de erosión con vetiver	59
10. Sampeado de piedra con vegetación	62
11. Vallas de retención (Wattle fence)	65
Anexos	71
Bibliografía	77

Introducción

Desde el Mitch hasta la fecha, Centroamérica se ha visto recurrentemente afectada por numerosos fenómenos, de distinto origen, diferentes intensidades y magnitudes, ocurridos en distintos territorios; pero siempre afectando negativamente a hombres y mujeres centroamericanas e impactando en sus medios de vida y subsistencia y, en general, en la economía del país donde aconteció.

Estos fenómenos, la mayoría de ellos causantes de desastres, han sido a su vez detonantes e impulsores de constantes y permanentes esfuerzos de pobladores, gobernantes, organizaciones e instituciones nacionales, regionales e internacionales, orientados a la reducción de riesgos y a hacer que las comunidades puedan aumentar sus capacidades y resiliencia ante los desastres.

Una de las formas de incrementar las capacidades, ha sido mejorando el conocimiento de los factores que generan riesgos y de cómo manejarlos de la manera más efectiva. En este sentido, este Manual de Bioingeniería, que forma parte de la **Caja de herramientas para la reducción de riesgos**, tiene por fin apoyar a los municipios, comunidades y familias a realizar una adecuada gestión y manejo de las zonas de riesgos vinculadas a fenómenos de inestabilidad de laderas, erosión e inundaciones haciendo uso de materiales locales.

Responde a las necesidades manifestadas por los gobiernos municipales de contar con nuevas técnicas de reducción de riesgo adaptadas a los escasos presupuestos municipales, y que den respuesta a los retos y desafíos asociados a la variabilidad climática y al cambio climático.

Manual de bioingeniería

Reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático

El conjunto de técnicas de bioingeniería que aquí se presentan, han sido validadas en el terreno en el marco de los proyectos del PRRD en Honduras y Nicaragua demostrando su eficacia en comparación con obras de ingeniería tradicional. Tienen la ventaja de que son construidas con materiales locales, lo que reduce su costo, contribuyen a la reducción de CO₂ y son de fácil implementación por las comunidades y familias, que son finalmente quienes adoptan estas prácticas en sus parcelas.

El Manual consta de dos partes. La primera enfocada en el marco conceptual y teórico, y la segunda presenta técnicas específicas de bioingeniería que incluye una descripción detallada de la aplicación, los pasos a seguir, hasta los materiales a utilizar para su construcción.

PARTE 1. Una aproximación a la bioingeniería





Parte 1. Una aproximación a la bioingeniería

1.0 ¿Qué es la bioingeniería?

La bioingeniería es la inclusión de pastos, arbustos, árboles y otros tipos de vegetación en el diseño de medidas u obras de ingeniería, para mejorar y proteger las laderas, terraplenes y estructuras de los problemas relacionados con la erosión y otros tipos de inestabilidades “superficiales” en laderas y defensas rivereñas para inundación.

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

1. La vegetación puede aumentar la resistencia del suelo al agrietamiento,
2. Proteger de la erosión laminar una superficie de suelo expuesta y,
3. Atrapar las partículas de suelo que se deslizan por el talud.

Debido a estas características la bioingeniería se convierte en el aliado perfecto al momento de identificar y proponer medidas de reducción de riesgos y de adaptación al cambio climático como pueden ser obras de protección a pequeña escala y/o de prevención relacionadas con estabilización de laderas, control de erosión, manejo de suelos, defensas ribereñas, etc.

1.1 Técnicas de bioingeniería

Existen dos enfoques para hacer frente a la problemática de estabilización de suelos y reducir la degradación que éstos presenta:

1. **Enfoque “duro” o “convencional”:** aquel que mediante estructuras tales como superficies cementadas, con gaviones, etc., o con mallas de alambre, que generalmente son costosas, dan solución al problema.



- **Degradación de suelos**
- **Desestabilización de suelos**
- **Erosión**

Solución: ESTABILIZACIÓN

Tradicional	Biotécnica
Enfoque Duro	Enfoque Blando
Materiales inertes	Bioingeniería de suelos
Combinación de materiales	Materiales vivos

2. Enfoque “blando” o “verde”: aquel que mediante el uso de vegetación también dan solución al problema¹.

Tiene a su favor que es mucho menos costoso, estéticamente agradable y ambientalmente favorable para el entorno, ya que contribuye a la mitigación de los efectos del cambio climático, por el uso de especies vegetales (plantas, árboles y arbustos) como elemento ingenieril, los cuales son muy eficientes para la captura de CO₂.

Relacionado con este último enfoque “blando” o “verde” surgen la estabilización biotécnica (EB) y bioingeniería del suelo (BS); conjunto de técnicas para el tratamiento de taludes, y en general, terrenos con altas pendientes en las que se utiliza la vegetación como elemento principal de estabilización y control de erosión.

Son conceptos y técnicas 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 un efecto estabilizador de los procesos de desestabilización y degradación que los afectan.

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 más bien específico que se refiere al uso de plantas completas o tallos, fracciones de tallos, raíces o ramas con capacidad de enraizar y desarrollar una planta adulta completa como elementos principales y únicos en la estabilización de taludes.

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 sí solo no evitará 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.

Manual de bioingeniería

Reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático

Adicionalmente estas técnicas, al promover la cobertura vegetal como medio de estabilización contribuyen a la captura de carbono, convirtiéndose así en una importante medida de mitigación al cambio climático.



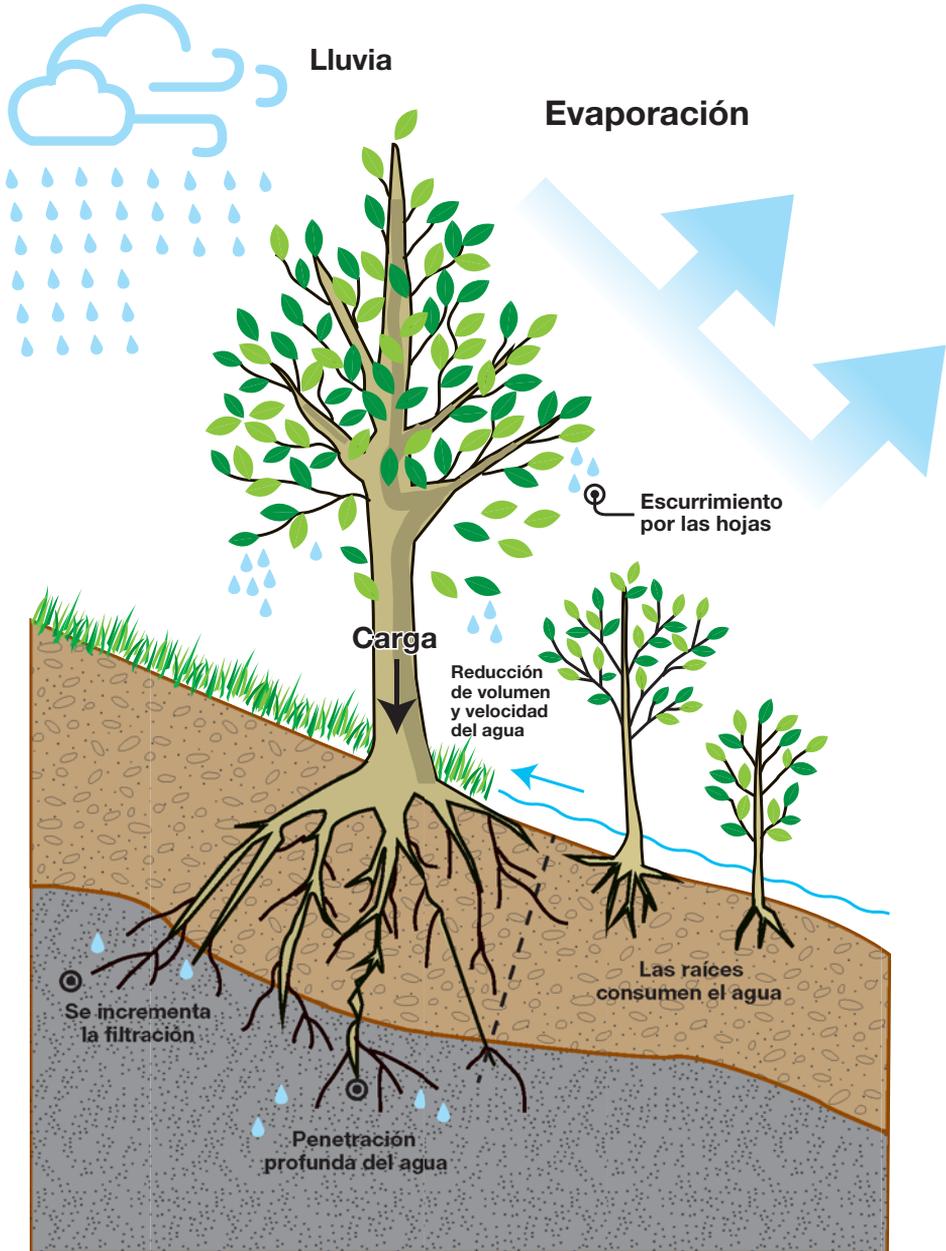
2. La influencia de la vegetación en los taludes

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;

- 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.
- Los árboles de mayor volumen o densidad de follaje, demoran más el ciclo hidrológico ya que retienen por mayor tiempo las gotas de lluvia.
- 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.
- 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).



- Los árboles espaciados cercanamente y las hierbas extraen más agua que los pastos.
- 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.
- En ocasiones la vegetación produce el efecto de mantener la humedad por debajo del límite de saturación mejorando la estabilidad de las laderas.
- 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 regímenes moderados de lluvias.

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

- Los árboles altos reducen más la erosión que los arbustos.
- Las hierbas o maleza protegen mejor contra la erosión que los pastos.
- La mejor protección contra la erosión y los deslizamientos, se obtiene estableciendo conjuntamente todos los sistemas de vegetación, incluyendo los musgos y demás variedades.
- 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.

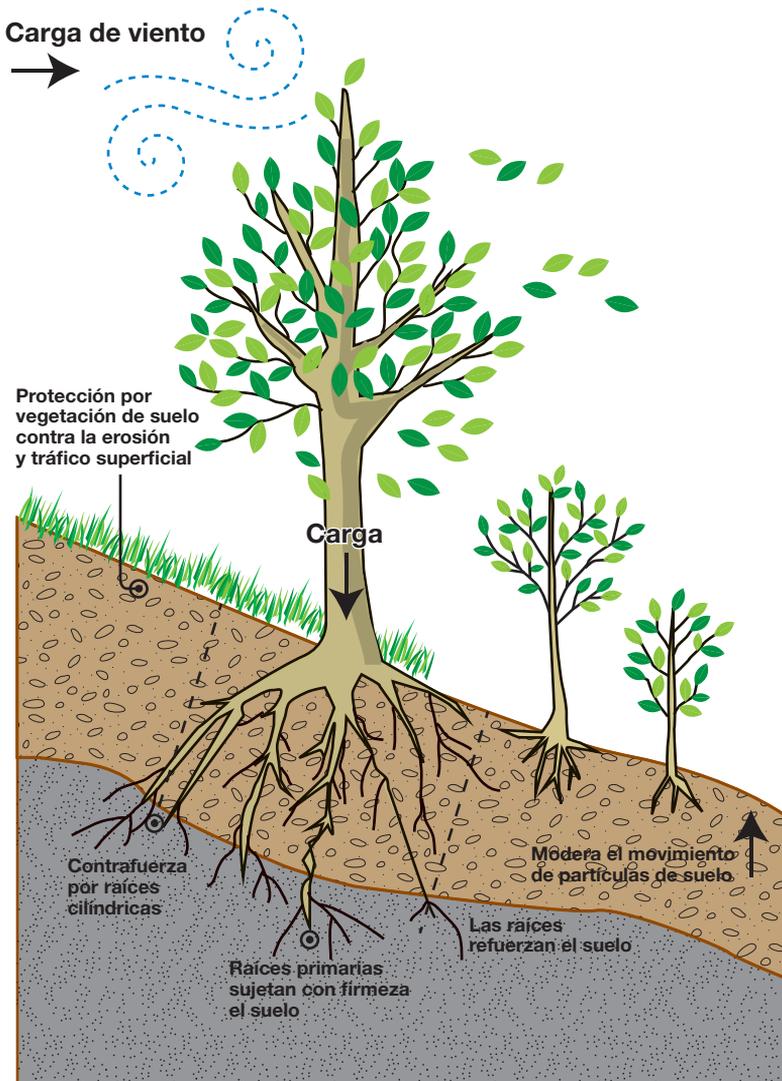
Los efectos de la deforestación sobre la estabilidad de los taludes puede no ser inmediata. Inicialmente se produce un cambio hidrológico y un aumento de la erosión superficial y de la infiltración, pero los efectos desastrosos se observan, cuando la infraestructura radicular

Manual de bioingeniería

Reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático

original se descompone, generalmente entre 2 a 5 años después de la deforestación. Este efecto se materializa en deslizamientos impactando en la población y en sus medios de vida.

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

FACTORES POSITIVOS

1. Intercepta la lluvia.
2. Aumenta la capacidad de infiltración.
3. Extrae la humedad del suelo.
4. Sus raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al cortante.
5. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos.
6. Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión.

FACTORES NEGATIVOS

1. Transmiten al suelo fuerza del viento.
2. Aumentan el peso sobre el talud.
3. Algunas especies causan grietas por desecación, ya que extraen toda el agua.

2.2 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. Tenemos así:

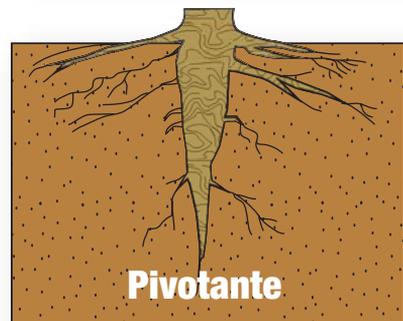
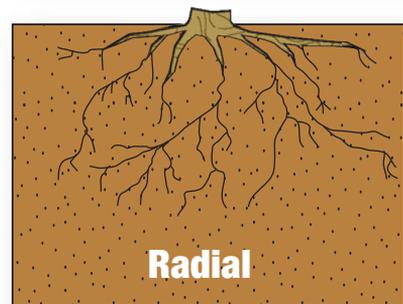
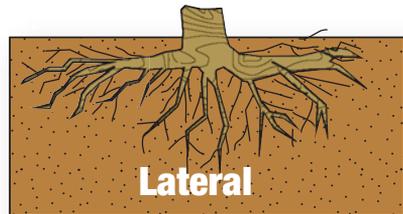
- a. Raíz de extensión lateral
- b. Raíz de extensión radial.
- c. Raíz pivotante: Son muy efectivas para la estabilización de deslizamientos poco profundos, ya que alcanzan profundidades mayores que las raíces laterales o radiales.

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 también 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 3 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 entrelazada 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.

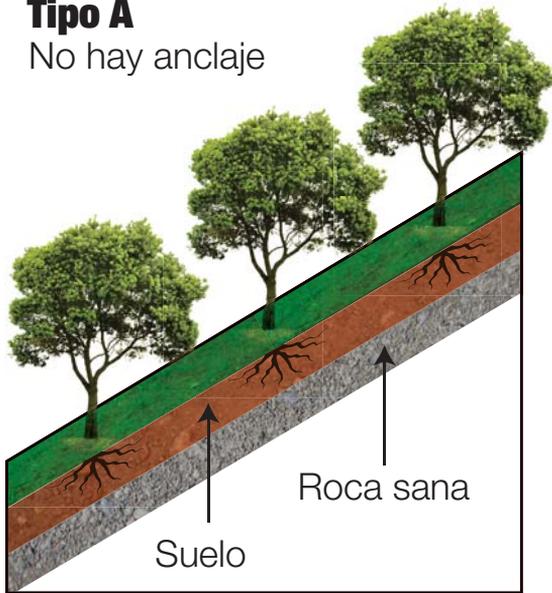
La resistencia a la tensión de las raíces puede ser hasta el 30% de la del acero, según Schiechtl (1980) y pueden extenderse varios metros por debajo de la superficie del talud.

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



Tipo A

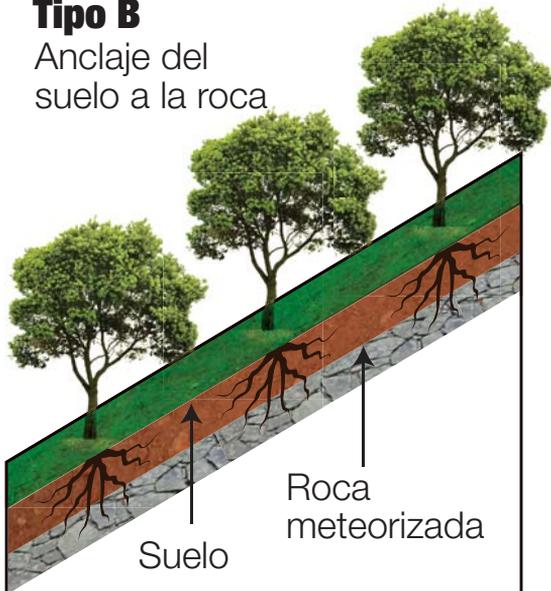
No hay anclaje



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

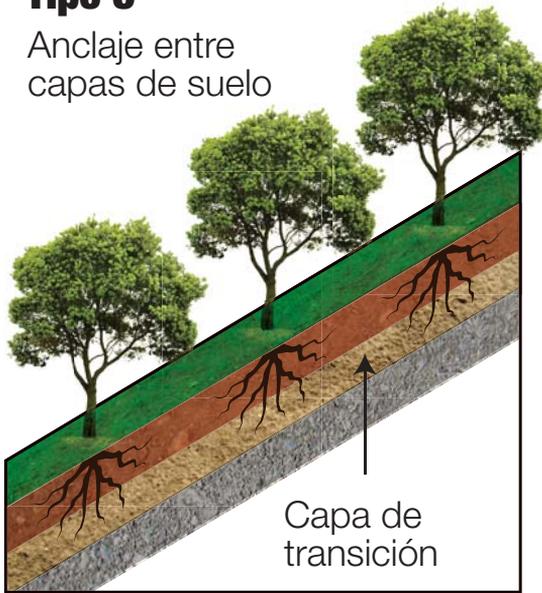
Anclaje del suelo a la roca



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

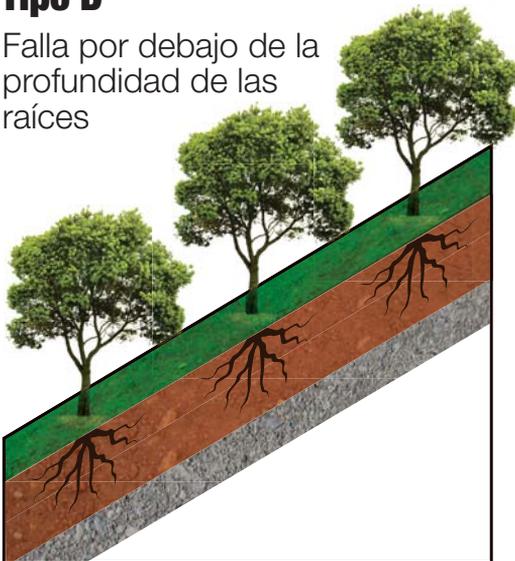
Anclaje entre capas de suelo



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

Tipo D

Falla por debajo de la profundidad de las raíces



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. A continuación se señalan algunos aspectos limitantes:

- 1.** 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. Se debe considerar que los ciclos de lluvia están presentando variaciones o cambios debido, muchas veces, a los procesos de deforestación y a la variabilidad climática, lo cual puede incrementarse en el futuro. Por tanto es aconsejable revisar las épocas de plantación de las diferentes especies y ajustarlas o considerar el uso de especies más resistentes y adecuadas a las nuevas condiciones climáticas.
- 2.** 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.
- 3.** 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.
- 4.** 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.

5. 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, los cambios en el clima, las diferencias de tolerancias y hábitos de las diferentes especies.

En esta selección debe de considerarse también las variaciones y/o cambios de ciclo de lluvias, temperatura, periodo de sequía, cantidad de lluvia, etc. que puedan manifestarse por efecto del cambio climático y, por tanto, las especies deberán tener como condición una capacidad de resiliencia y adaptación al medio y a los cambios progresivos.

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.

Ventajas y desventajas de los diversos tipos de plantas

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 riberas de ríos.	Difíciles de obtener y el sistema de plantación no es sencillo
Hierbas	Variedades para escoger existen especies que se reproducen por estaca. Raíz profunda, buena cobertura, bajo mantenimiento.	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 y no se consiguen raíces.
Árboles	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;

1. 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;
2. La bioingeniería utiliza materiales locales como vegetación y rocas; no depende de insumos importados ni de gastos en divisas;
3. Contribuye a mitigar los efectos del cambio climático.



PARTE 2. Técnicas de bioingeniería



	Categorías	Ejemplos
Construcciones vivas	Técnicas Convencionales de Revegetación	Siembra
		Tepes
	Plantas Leñosas utilizadas como refuerzo y como barreras para contención del suelo	Transplante
		Estaquillado
		Fajinas
		Escalones de matorral
		Paquetes de matorral
		Esteras
Construcciones mixtas	Asociación de estructuras inertes y plantas	Muros y revestimientos con una cara plantada
		Estructura 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
		estructura de reforzamiento plantadas
	Plantación de Leñosas en aberturas frontales o intersticios de revestimientos porosos	Malla tridimensional vegetada
		Plantación en juntas
		Revestimiento de bloques de hormigón plantado
		Pastos reforzados con geotextiles

PARTE 2. Técnicas de bioingeniería

Como ya hemos adelantado, las técnicas de bioingeniería presentan un conjunto de ventajas o bondades para ser consideradas al momento de proponer soluciones relacionadas con la reducción de riesgos y la adaptación al cambio climático.

Además de ser ambientalmente favorables, presentan un comportamiento de estabilización creciente dada su capacidad autoregenerativa. Son más estables y con el tiempo y el debido mantenimiento y cuidado van fortaleciendo su capacidad e incrementando sus beneficios independientemente del lugar o zona de aplicación, tienden a ser mucho más sostenibles y de fácil capacidad adaptativa; aspecto que es de mucha importancia en un contexto de variabilidad climática o de cambio climático que desde ya venimos viviendo.

Las técnicas de bioingeniería se clasifican en:

1. técnicas o construcciones vivas;
2. técnicas o construcciones mixtas.

A continuación compartimos algunas técnicas de bioingeniería, presentando de manera sencilla y descriptiva cómo y de qué manera, paso a paso, puede implementarse estas medidas; algo así como un catálogo de herramientas de medidas técnicas de bioingeniería.

Técnica 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

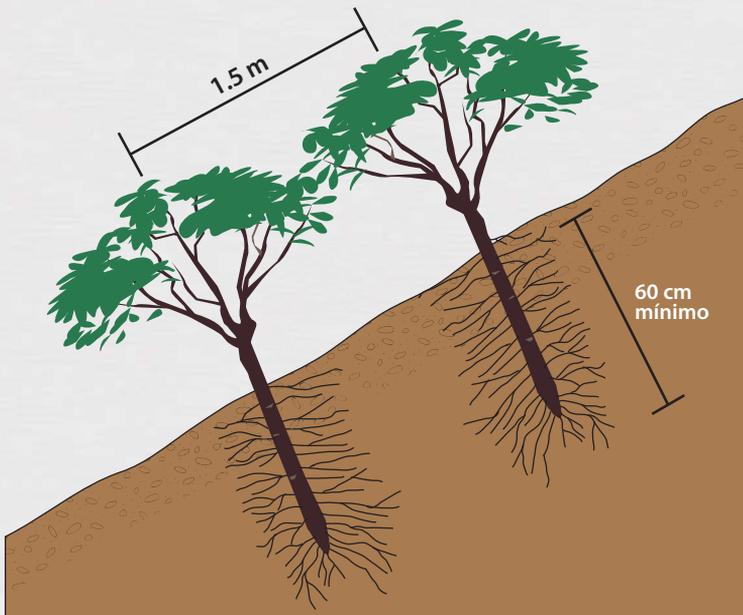
- Las estacas vivas pueden utilizarse como un tratamiento primario, en el que las estacas cumplen un objetivo de anclar otros elementos como trinchos o mantos vegetales, gaviones, etc., las cuales, posteriormente, se convertirían en árboles o arbustos.
- Estabilizan el suelo por refuerzo y cohesión de sus partículas y reducen el exceso de humedad, drenando 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 árboles 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.



Técnica 2: Escalones de matorral y 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 colocadas a lo largo de la pendiente del talud, de manera tal que forman escalones. También en otros casos suele llamárseles capas de enramados.

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. Esta orientación perpendicular es más efectiva para el refuerzo del suelo y la estabilidad del talud, frente a los 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.

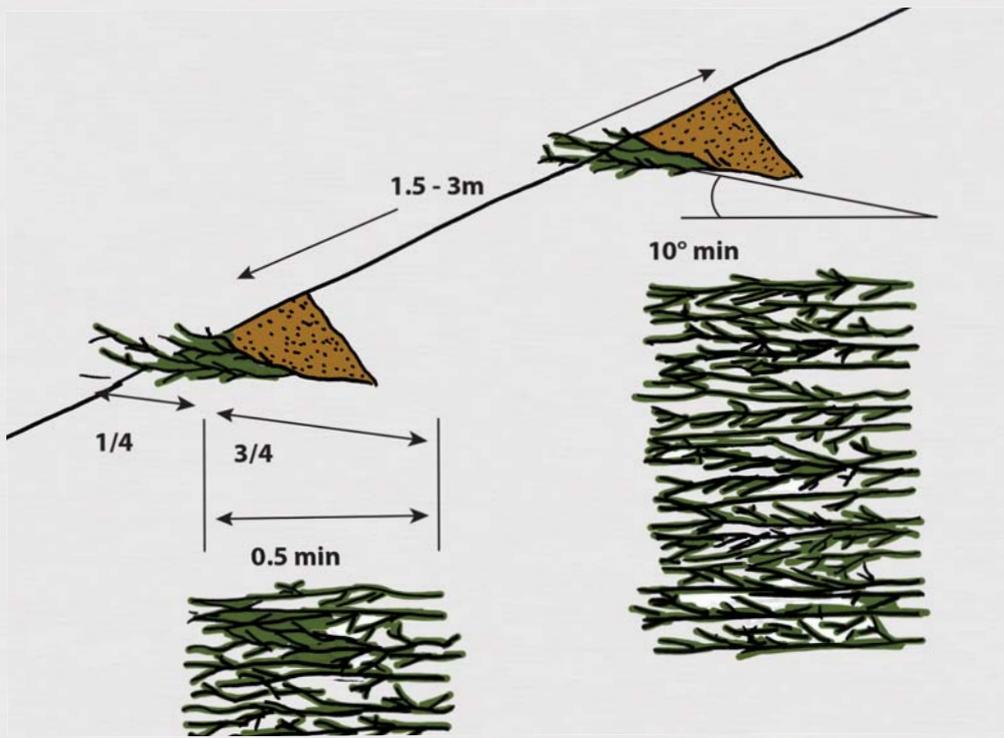
Materiales

- Pala
- Ramas de 1.0 a 2.5 m. 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 o curvas 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 (a 10° 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 3 m. de distancia, según la pendiente del talud.
- Se colocan las ramas de manera perpendicular a la superficie del talud, con las yemas de crecimiento hacia fuera, enterradas hasta 3/4 de su longitud y quedando sólo 1/4 (unos 30 cm.) por fuera.
- Las ramas se colocan entrecruzadas con un espesor de 75 a 200 mm.
- Se rellenan las zanjas con el 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.



Algunas variaciones

Capas de ramas combinadas con telas de refuerzo y confinamiento

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

El relleno de suelo a utilizarse en las capas de enramados debe ser de suelos mixtos compuestos por arena, grava y arcilla; preferiblemente con materia orgánica o con nutrientes de abono.

No obstante, no se deben utilizar arenas, gravas limpias o arcillas plásticas. Desde el punto de vista de la 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.

Pasos para la construcción

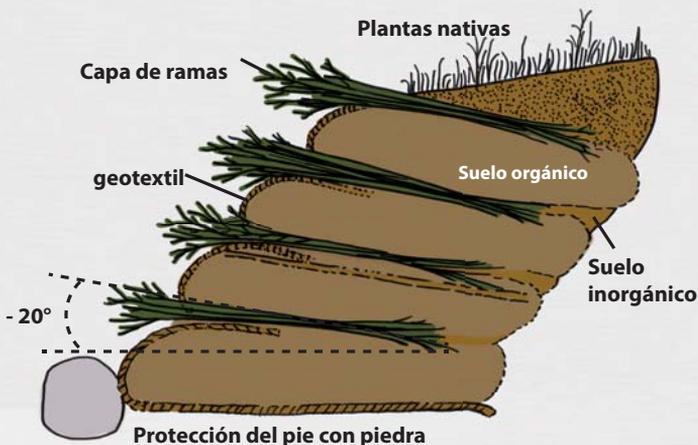
- La terraza sobre la cual se colocan las capas de ramas debe tener una pendiente hacia atrás de 10 a 20 grados con la horizontal.
- Colocar las ramas entrecruzadas formando una red diagonal o con un sistema de traslape.
- Las puntas de las ramas deben alinearse en tal forma que sobresalgan hacia afuera 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.

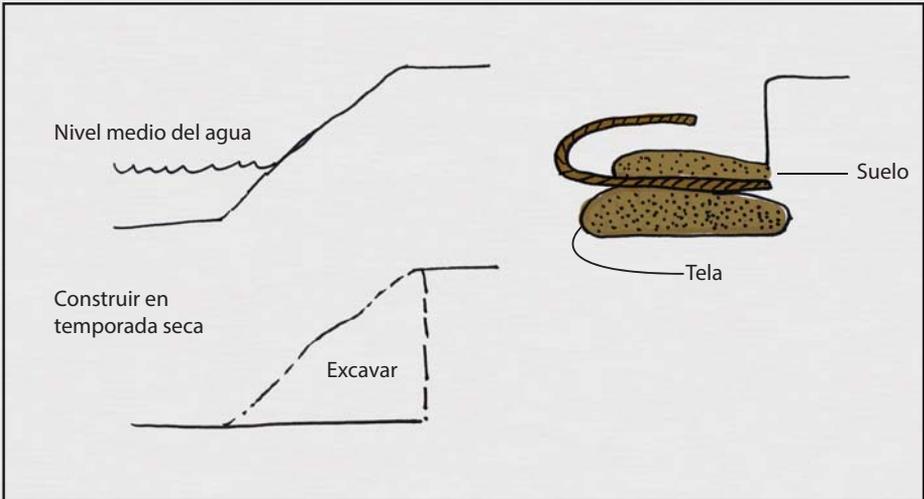
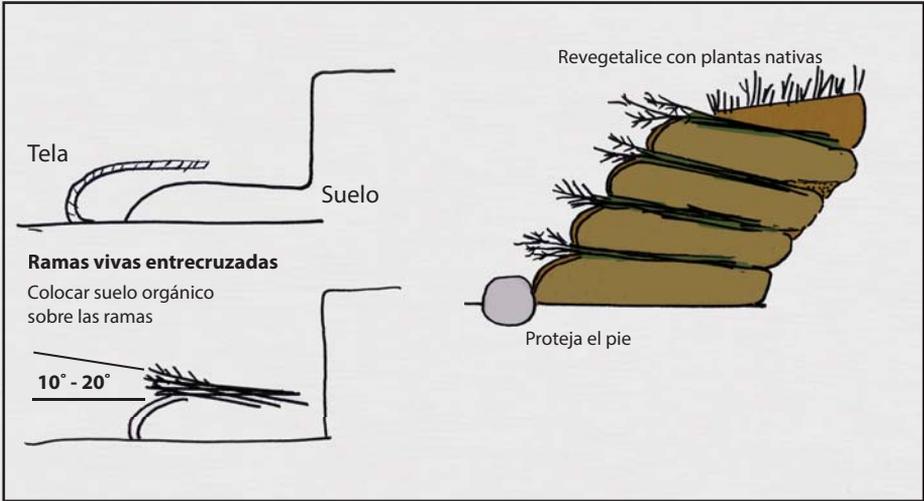
Con capas de suelo compactado entre cada capa de ramas



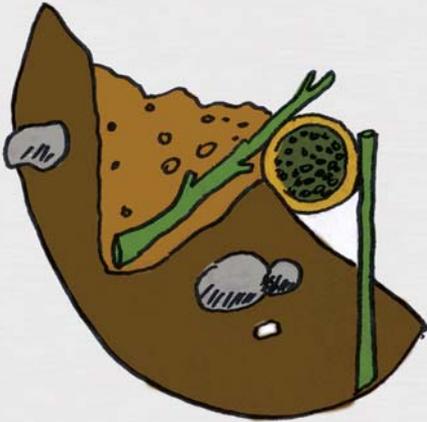
Con suelo compactado y cubierto con geotextil o yute



Paso a paso



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 10 metros de longitud.



Capas de ramas modificada: (1-2 metros de ancho) elaborados con trozos de troncos y estacas o tablonces 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.

Técnica 3: Fajinas (Wattles)

Descripción

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



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.

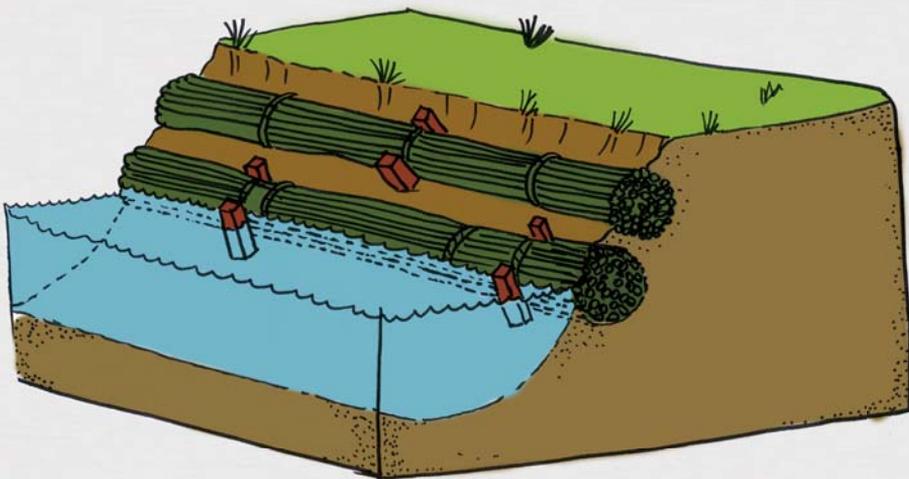
Uso en Ingeniería

- 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 medida 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 pulgadas de diámetro. De otro modo, se debe proteger la base con rocas, en los casos más extremos.

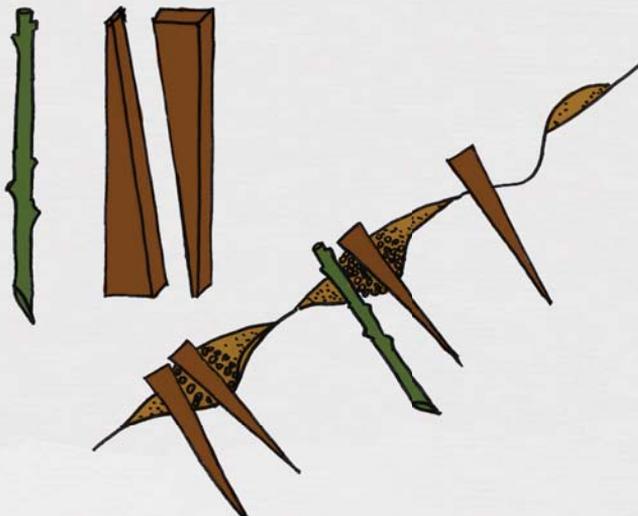


Materiales

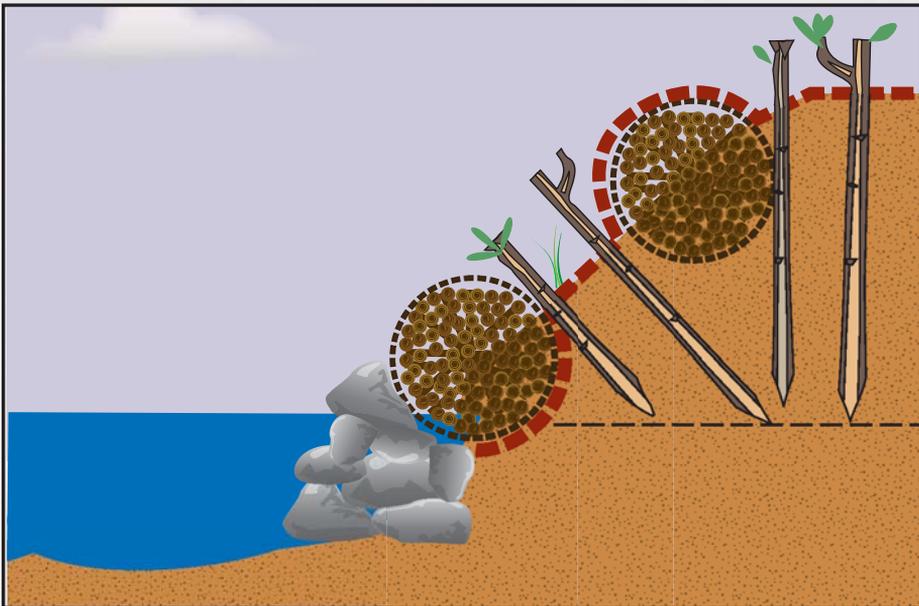
- Ramas: deben ser largas, rectas y flexibles y provistas de yemas de crecimiento, provenientes de árboles entre 1 a 4 años de edad.
- Palas
- Machete
- Mecate
- Estacas de 1 m. de longitud y diámetro
- Martillo

Pasos para la Construcción

1. Se construye una zanja a una profundidad aproximada de 20 centímetros en el contorno del talud, siguiendo las líneas o curvas 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.



Técnica 4: Fajinas de drenaje

Descripción

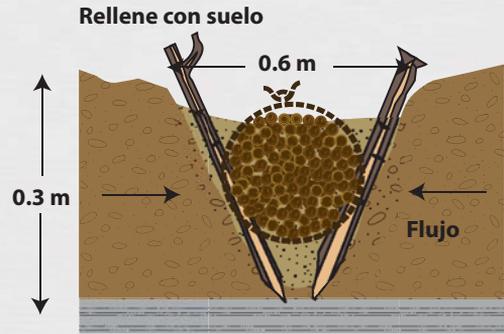
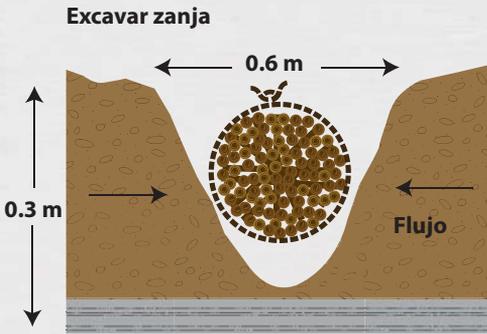
Las fajinas son manojos semicilíndricos de ramas o de hierbas de diámetro 0.20 y 0.40 m., y longitudes entre 2 y 9 m. atadas con alambre o con sogas de fibras orgánicas o polipropileno cada 0.20 - 0.30 m.

Función

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

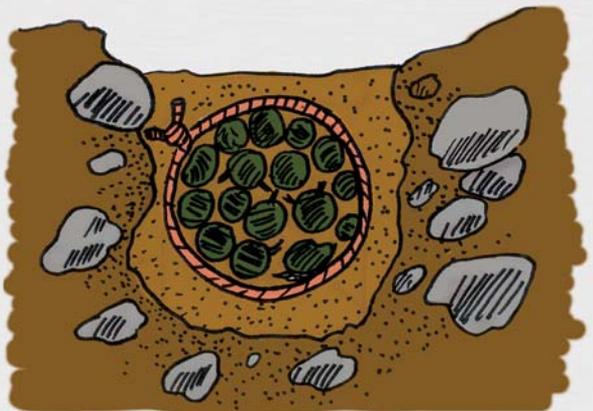
Pasos para la Construcción

1. El sistema consiste en excavar zanjas en forma de 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.



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 una profundidad de hasta 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 m.



Técnica 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, 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 y 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 m. 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, bótelo 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 ellas 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. Cerciórese de que el centro de la presa de control está más abajo que los costados. Esto asegurará que el reflujo 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.

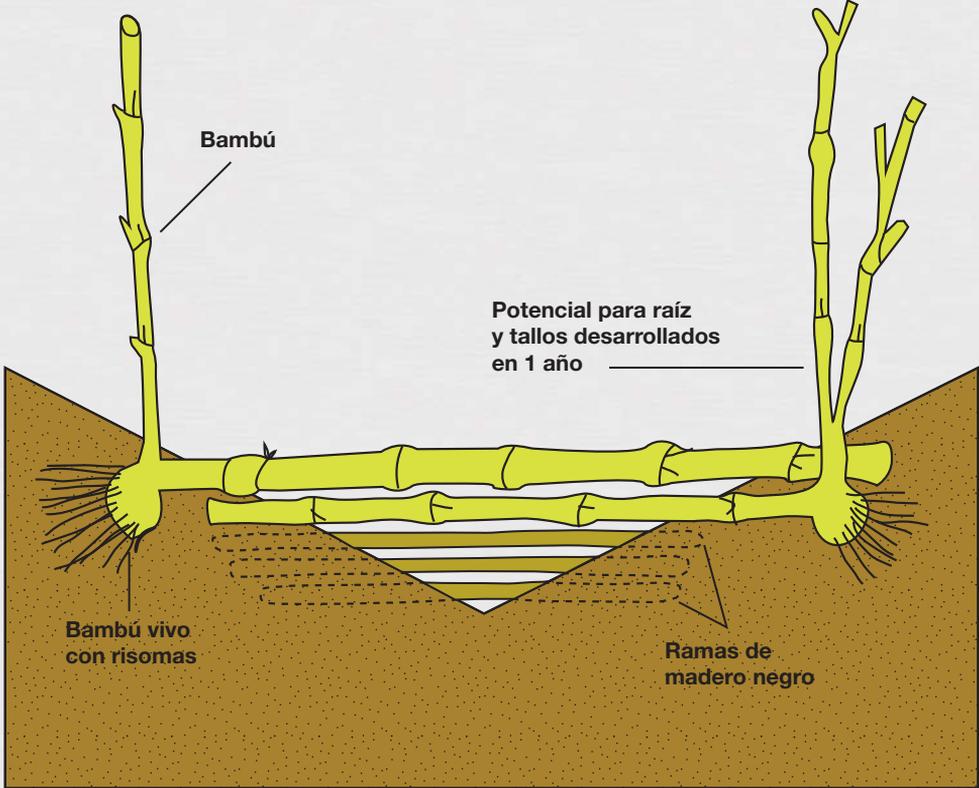
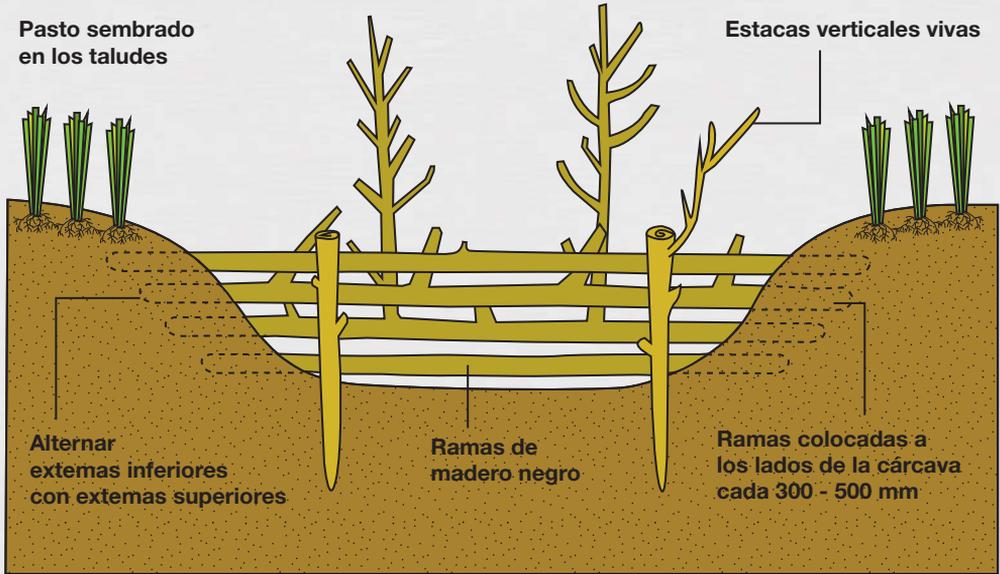
Es preferible colocar numerosas presas pequeñas y no unas pocas presas grandes.

Herramientas

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

Pasto sembrado en los taludes

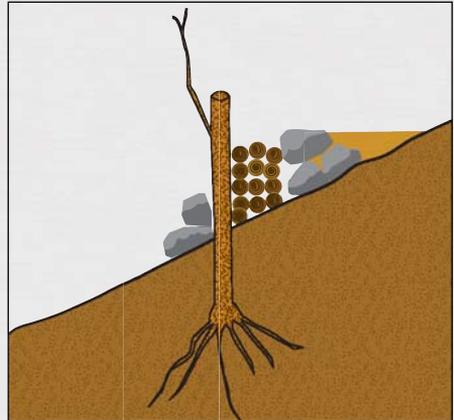
Estacas verticales vivas



Especies que se utilizan

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

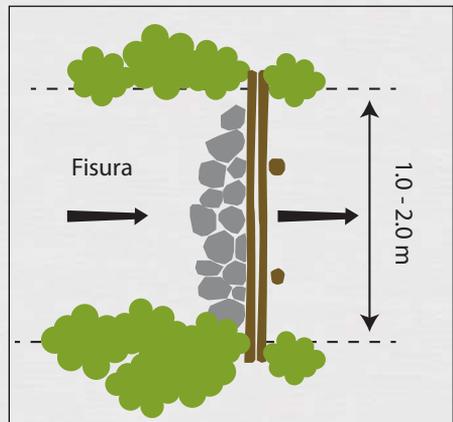
Vista lateral

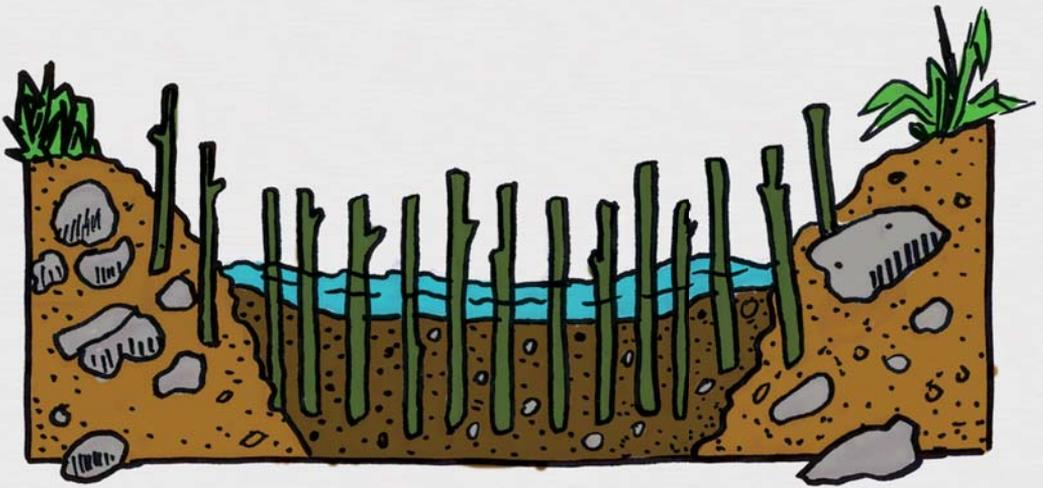
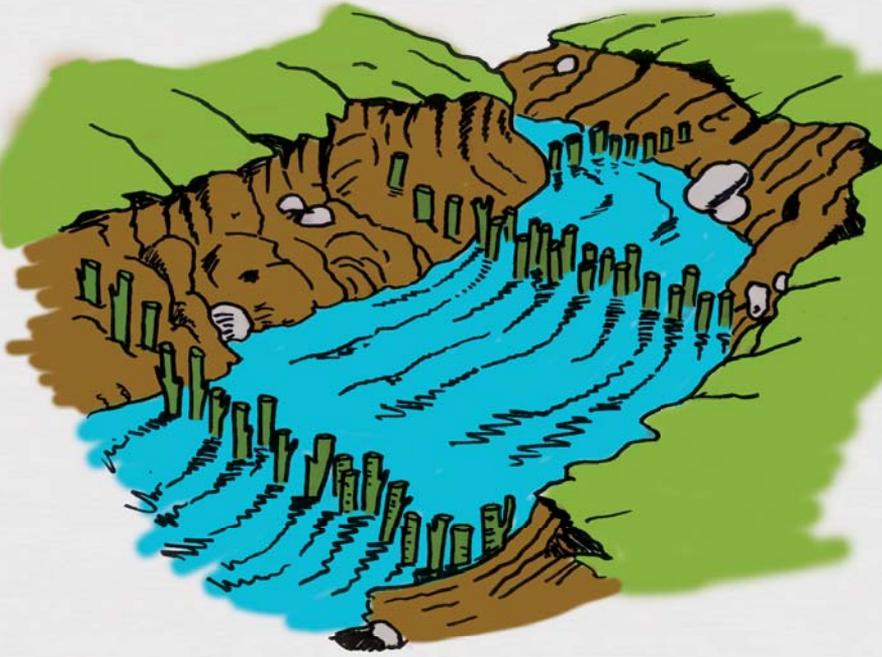


Variaciones o combinaciones

- 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.

Vista de planta





Técnica 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 las 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 rellenados.
- 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 las barreras en taludes más empinados 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

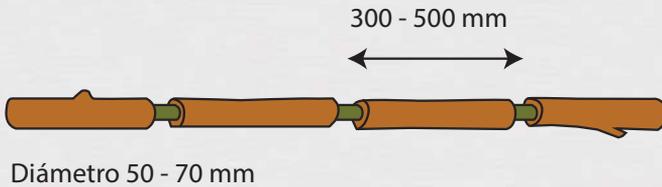
- Estacas de *Gliricidia sepium* (madero negro) con un diámetro de 60-12 mm. y entre 1 a 2 m. de largo, con cortes anulares en la corteza a intervalos de 300-500 mm.
- Se necesitan 4 m. de estacas de madero negro por metro corrido de zanja.

Pasos para la construcción

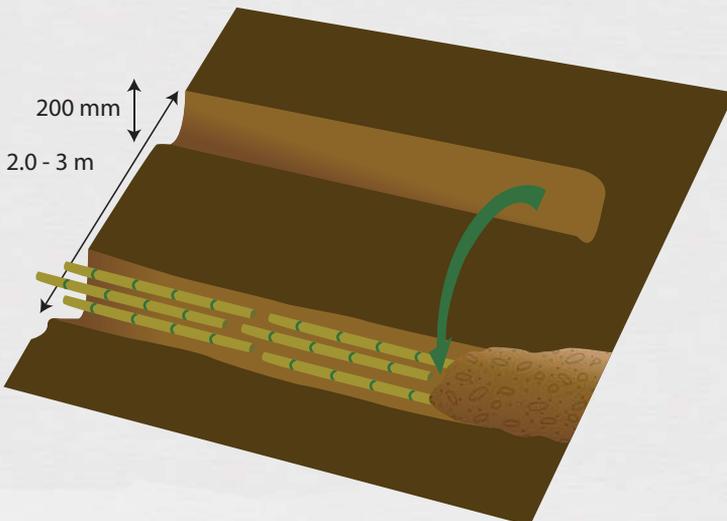
1. Establecer un contorno a lo largo del talud.
2. Preparar estacas de madero negro (véase la especificación D). Haga un corte anular en la corteza de las estacas a intervalos de 300-500 mm. para estimular el crecimiento de raíces a lo largo del

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.
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.



Prepare estacas de madero negro con anulares en la corteza a intervalos de 300-500 mm



Herramientas

- Mecate,
- Estacas
- Nivel para hacer el contorno.
- Machete
- Palas/ piocha

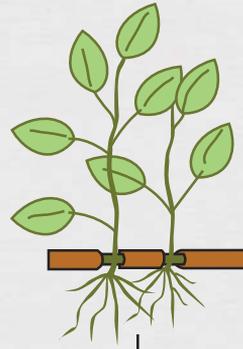
Especies

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

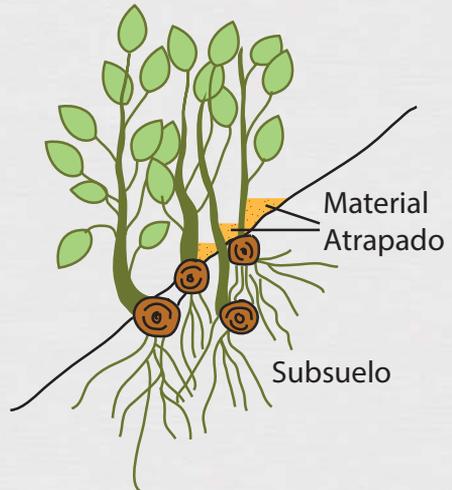
Variaciones o combinaciones

- Las barreras densas de Gliricidia sepium (madero negro) se pueden utilizar en combinación con la siembra de pasto.
- Las barreras densas de Gliricidia sepium (madero negro) se pueden utilizar como mini presas vivas de control en pequeñas cárcavas y grietas profundas.
- Las barreras densas de Gliricidia 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.

A un año



Densa Red de Raíces



Técnica 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 piedras 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.

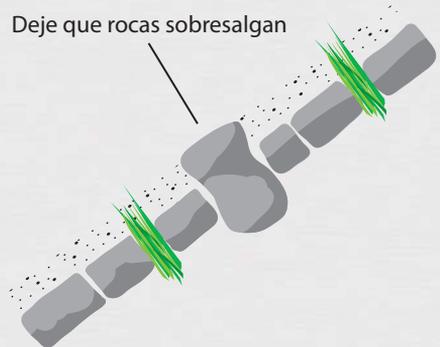
Herramientas

- 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

Técnica 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

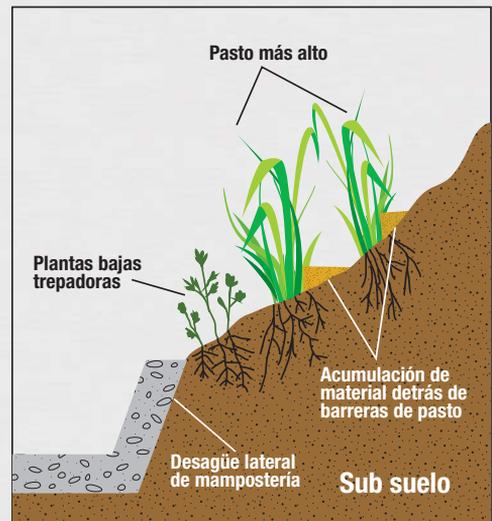
- Establecer una guía para la siembra paralela al desagüe o al costado del camino.
- Sembrar una doble hilera de pasto con un espacio de 150 mm. entre plantas en la fila y 200 mm. entre las filas.
- Dependiendo de la gravedad del problema de erosión y del espacio disponible, se puede formar una barrera más densa que incluya vegetación leñosa. Esto puede retener pequeñas rocas o pequeñas caídas de tierra.
- Las plantas de menor tamaño deben sembrarse más 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

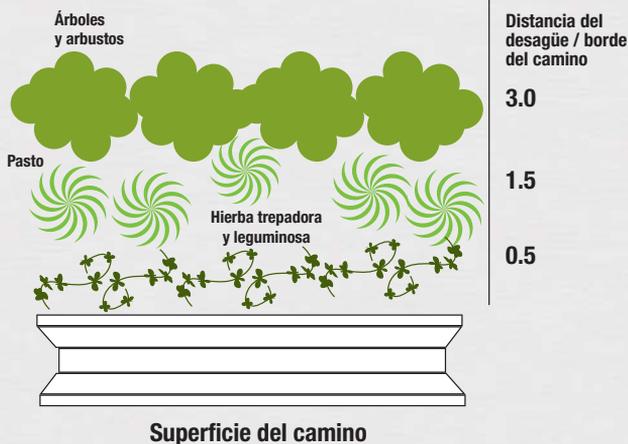
Manejo

- **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).

Técnica 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

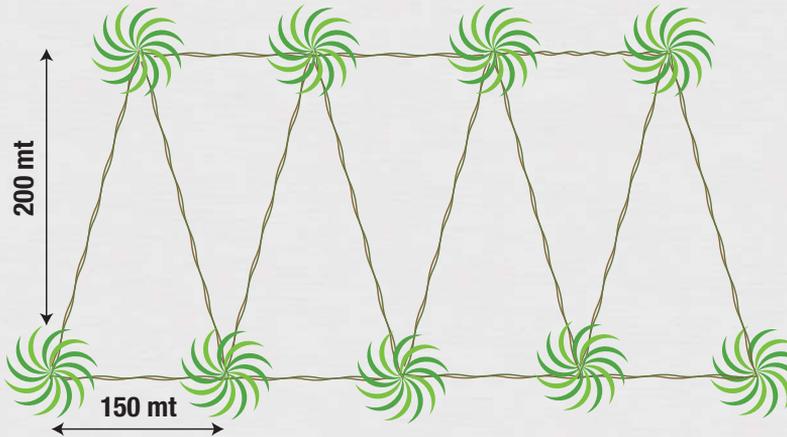
- Retoños de pasto vetiver de buena calidad provenientes de un vivero o de áreas naturales.

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.

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.

Técnica 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 atrapa 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 sampeado 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 sampeado 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.

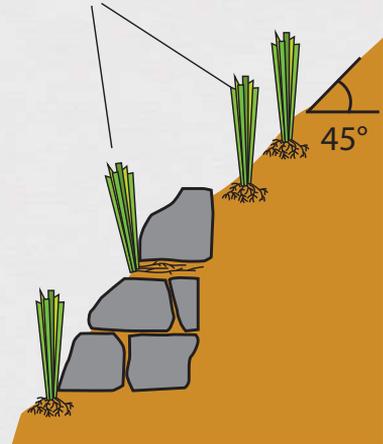
Especies

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

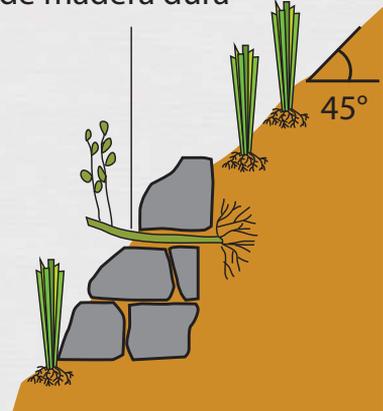
Variaciones o combinaciones

- 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.

Retoños de pasto



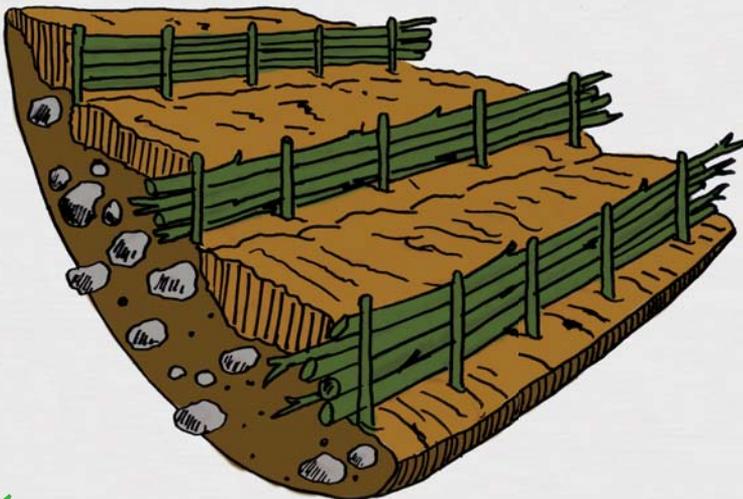
Estacas vivas de madera dura



Técnica 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 van a seguir creciendo una vez colocadas en el suelo o en estacas no germinables.



Función

- Para estabilizar la producción de sedimentos y detener la erosión de las laderas.
- Para evitar la erosión de su estructura física hasta que las plantas establecidas puedan proporcionar protección contra la erosión permanente.
- Para poner en marcha el establecimiento de una autosostenible 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 necesaria debido a la escorrentía de aguas pluviales o la tabla de agua.

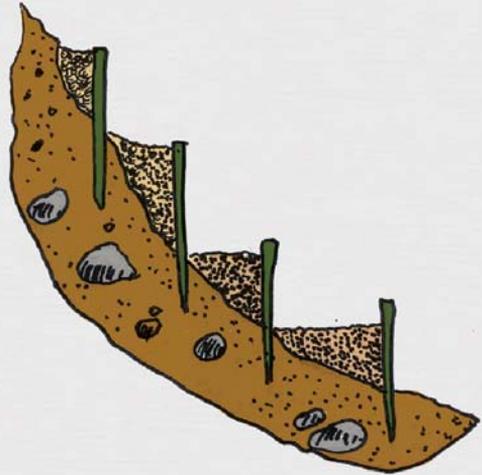
NO: Recomendable en zonas donde hay grave contaminación de los suelos o del agua, y no puede ser controlado el tráfico de humanos o el tráfico de animales; o cuando la sombra es demasiado densa para que las especies seleccionadas puedan prosperar.

Materiales

- Estacas de madero negro,
- Estacas de madera,
- Cordeles y cuerdas,
- Material vegetal

Herramientas

- Pala





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.

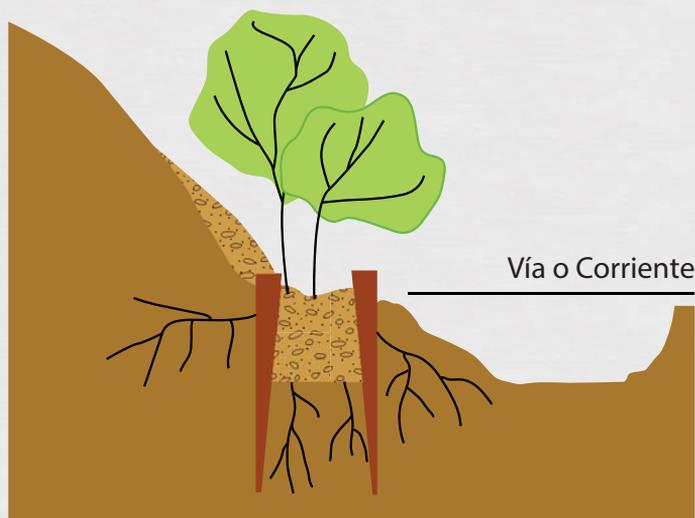
Cajas de ramas: Este sistema consiste en la construcción de barreras en forma de cajón longitudinal utilizando ramas las cuales se sostienen lateralmente con estacas enterradas que siguen creciendo una vez colocadas en el suelo. Estos cajones requieren de una excavación muy pequeña, pero es importante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





PARTE 3. Anexos



Anexo 1: Listado de árboles que se reproducen por estaca y que son utilizados para estabilización de taludes

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 popayanesis</i>	1.5 a 3 m.
Balso	<i>Ochoroma pyramidale</i>	2 a 3 m.
Búcaro	<i>Erythina fusca</i>	2 a 3 m.
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	2 a 3 m.
Chachafruto	<i>Erythina 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>Eucalytus 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 leuccephala</i>	1.5 a 3 m.
Matamatón	<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 humboltiana</i>	2 a 3 m.
Urapán	<i>Fraximus chinensis</i>	2 a 3 m.

Anexo 2: Especies para bioingeniería en el Caribe

A. Especies principales

Pastos

- Vetiveria zizanioides (pasto vetiver)
- Pennisetum purpureum (pasto elefante)
- Cynodon dactylon (pasto bermuda)
- Penicum maximum (pasto guinea)
- Bambusa vulgaris (bambú)

Arbustos y árboles

- Azadirachta indica (Neem)
- Gliricidia sepium (Madero negro)
- Calliandra calothyrsus (Calliandra)
- Leucaena leucocephala (Leucaena)
- Haematoxylum campechianum (palo campeche)
- Psidium guajava (Guayaba)

Leguminosas rastreras

- Arachis pintoi (maní forrajero)
- Centrosema pubescens (Centrosema)
- Teramnus labiales
- Neonotonia wrightii

B. Especies secundarias

Pastos

- Androgon intermedius var. Acidulus (pasto amargo / zacatón)
- Cymbopogon citratos (Zacate de limón)
- Digitaria decumbens (pasto Pangola)
- Tripsacum laxum (pasto Guatemala)
- Zoysia tenuifolia (Zoysia)

Arbustos y árboles

- Acacia auriculiformis
- Acacia Senegal
- Acacia mearnsii (Black wattle)
- Albizia lebbek (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

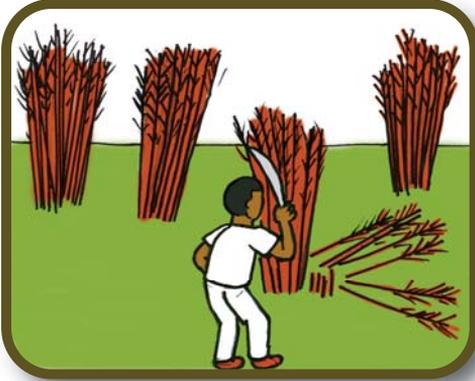
Leguminosas trepadoras

- Desmodium spp (desmodium)
- Lablab purpureus (frijol terciopelo)
- Puerraria thunbergiana (pasto Kudzu)

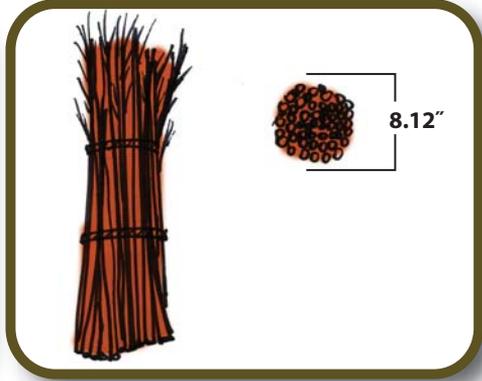
Anexo 3. Fijación de carbono para diversas especies bajo plantaciones

Especie	Edad (años)	Fijación de carbono (ton/ha)
Pinus caribea	15	59
Leucaena sp	7-8	21-42
Pinus patula	20	72
Casuarina sp	10	21-55
Cupressus lusitanica	20	57
Acacia nilotica	10-15	12-17
Melina		8,2
Teca		4,9
Laurel		5,4
Pochote		3,3
Eucaliptus deglupta	7-10)	9,5
Pinus sp.		4,6
Ciprés		8,5
Bambú	7-10	8-12

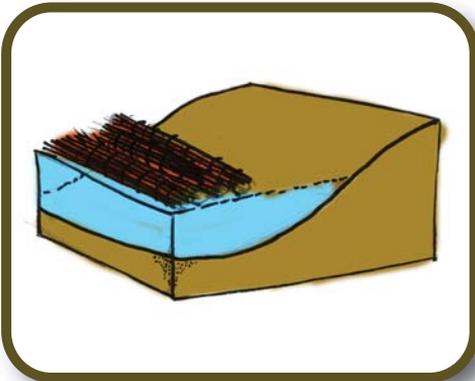
Anexo 4. Procedimiento para hacer las fajinas



Paso .1 Cortar las ramas



Paso 2. Amarrar en rollos con mecate o fibra vegetal



Paso 3. Remojar:
De 5-7 días, construir un rollo sacar del agua antes que empiecen a sacar raíces



Paso 3. Construir fajinas:
Hacer un rollo largo uniendo y alternando las direcciones de las ramas, el rollo debe estar atado cada 18 pulgadas

Anexo 5. Tabla Comparativa de técnicas Bioingeniería vs Ingeniería convencional

Función ingeniería	Solución ingeniería	Posibles inconvenientes	Alternativa Bioingeniería	Solución Bioingeniería	Solución Bioingeniería	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.	Revegetar con árboles el pie del talud.	Muros de retención vegetado con árboles.
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.	Arbustos y árboles con raíces muy profundas.	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 incrementa la resistencia al corte.	Barreras densas de vivas, escalones de matorral, fajinas vivas, y algunos arbustos y árboles.	Barreras densas de vivas, escalones de matorral, fajinas vivas, y algunos arbustos y árboles.	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 Ramas pueden cumplir esa función	Fajinas de drenaje Ramas pueden cumplir esa función	Muro de retención vegetado
Captar material erosionado	Cercas de retención de retención	En pendientes escalonadas es inseguro construir las	Escala micro: barreras densas de vetiver. Escalas más grandes: los arbustos con muchos tallos y bambúes			

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 Peláez
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

La Cooperación Suiza en América Central, a través de su Programa de Reducción de Riesgos de Desastres (PRRD) lleva más de 12 años acompañando a los gobiernos municipales, como promotores y facilitadores del desarrollo socioeconómico en el territorio, en la implementación de un modelo de gestión integral de riesgos con el fin de contribuir a la reducción de la vulnerabilidad de los más pobres frente a amenazas de origen natural y antrópico.

Como resultado, se han fortalecido las capacidades nacionales y locales en Honduras, Nicaragua y El Salvador, contribuyendo al establecimiento de buenas prácticas de gestión de riesgos, así como a la generación, promoción y aplicación de herramientas técnicas que favorecen la reducción de los riesgos de desastres y promueven la adaptación al cambio climático en territorios vulnerables.

Con esta publicación, la Cooperación Suiza, contribuye al cumplimiento de las prioridades establecidas en el Marco de Hyogo, en particular la prioridad 3 enfocada en la gestión y difusión del conocimiento, la innovación y la educación para crear una cultura de seguridad y de resiliencia a todo nivel.

1

MANUAL DE BIOINGENIERÍA

Reduciendo riesgos y adaptándonos al cambio climático

2

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ORDENANZAS

para el manejo de zonas de riesgos en los municipios

3

GUÍA PARA LA REDUCCIÓN

de la vulnerabilidad en Sistemas de agua potable y saneamiento

4

GUÍA METODOLÓGICA

Integración de la temática de reducción de riesgo de desastre en la currícula de pregrado

5

RECOMENDACIONES TÉCNICAS

para la elaboración de mapas de amenazas por sequía meteorológica