

Obras de ingeniería verde

Artículo 840 - 22

840.1 Descripción

Las obras de ingeniería verde consisten en una serie de procesos o estructuras que contribuyen a la retención de material suelto, mejoran el drenaje de la zona intervenida y disminuyen la energía de escorrentía superficial y subsuperficial, mitigando así los procesos erosivos. La característica principal de estas estructuras es que son construidas con materiales biodegradables, lo que las hace amigables con el medio ambiente al generar impactos positivos.

La revegetalización influye sobre la velocidad y el volumen del flujo del agua hacia y sobre una superficie de talud mediante los procesos de interceptación, retención y acumulación de agua, evaporación de gotas en las hojas, evapotranspiración e infiltración. Mecánicamente, la vegetación puede llegar a aumentar la resistencia al corte del suelo en el cual está creciendo y por lo tanto, puede llegar a contribuir a su estabilidad geotécnica.

Los estudios de consultoría de ingeniería verde deben ser desarrollados por personal experimentado en ingeniería ambiental y geotécnica.

Es importante resaltar que esta técnica de mejoría está basada en procedimientos subjetivos con uso de materiales biodegradables.

Cuando sean aplicados a procesos de remoción en masa activos, deben tener acompañamiento continuo por medio de métodos de control como son: inspección visual, ensayos de laboratorio y monitoreo con instrumentación geotécnica. Hasta garantizar su eficiencia.

Los filtros vivos, las zanjas de drenaje y los gusanillos, son utilizados para controlar y evacuar rápidamente el flujo de escorrentía superficial y subsuperficial (ver Figura 840-1).



Figura 840-1. a) Filtros vivos, b) Zanjas de drenaje y c) Gusanillos. Navarro Wolf, Jorge (2015) II seminario de bioingeniería de Bogotá.

Hay 3 tipos de Filtros:

- Filtro tipo uno (1) o Principal: es un filtro de capas de guadua superpuestas, interconectado en el sentido de la pendiente, el cual recoge todas las aguas provenientes de los filtros tipo dos (2) para conducir las fuera del talud.
- Filtros tipo dos (2) o Secundarios: son filtros de capas de guadua superpuestas, interconectados en sentido oblicuo a favor de la pendiente, a manera de espina de pescado, los cuales se conectan al filtro principal u otra estructura de drenaje, en ángulos iguales o menores de cuarenta y cinco grados (45°). Su objetivo es sacar el agua de sitios específicos en donde no es necesario un filtro tipo uno (1), también se puede dar el caso que el filtro se inicie como tipo dos (2) y posteriormente, a medida que aumenta el área de captación y el volumen de agua, se convierta en uno de tipo uno (1), esto estará definido en el diseño.
- Filtros especiales: corresponde al mismo filtro tipo uno (1), con alteraciones en sus dimensiones dependiendo de las condiciones intrínsecas del proyecto y según lo que se establezca por el consultor en su diseño. Si en obra se requiere hacer modificaciones al diseño se definen entre el constructor experto, el consultor y el interventor.

Las zanjas de drenaje son excavaciones superficiales en forma de canal elaboradas manualmente con ayuda de herramientas como pica y pala. Se realizan con el objetivo de dirigir una escorrentía de agua o flujo superficial fuera de una zona, para evitar que la saturación de la misma genere algún problema o riesgo.

El gusanillo o bordillo cumple la función de conducir el agua de escorrentía y la conducen a sitio seguro de drenajes adecuados, evitando que fluya sobre la cara del talud externo; consiste en un amontonamiento de suelo a manera de montículo con el fin de evitar la entrada de agua de escorrentía a un sitio determinado. El amontonamiento de suelo se realiza en empaçado de sacos de fique, yute y/o material biodegradable que no genere impactos ambientales.

Los trinchos vivos, tiene dimensiones diferentes definidas en el diseño si se utilizan escalonados para dar soporte a los filtros vivos o como estructuras construidas escalonadamente de abajo hacia arriba en sentido de la pendiente, para disipar la energía cinética del agua y reconformar laderas (perfil más suave), finalmente, este conjunto de elementos forma terrazas con pendiente promedio acorde a la inclinación del terreno o para el manejo de drenajes y cauces naturales con vertedero y cresta para controlar el arrastre de materiales, (ver Figura 840 - 2).



Figura 840 - 2. a) vista frontal y b) vista lateral de los Trinchos vivos. Navarro Wolf, Jorge (2015) II seminario de bioingeniería de Bogotá.

El taponamiento de grietas consiste en rellenar las mismas con material presente en la zona donde se presenta el deslizamiento, de preferencia arcilla. Luego se compacta con un pisón en capas sucesivas compactadas manualmente en capas de veinte a veinte cinco centímetros (20 a 25 cm), hasta llegar al nivel y pendiente del suelo original.

Esta acción evita que el agua se infiltre con facilidad en el suelo impidiendo la saturación del material. Si la grieta no es intervenida, va a aumentar su longitud, profundidad y anchura con el tiempo.

Finalmente, la revegetalización, ayuda a mitigar la erosión provocada por el viento y las lluvias gracias a la cobertura vegetal generada, la cual también ayuda a retener el material más superficial.

840.2 Materiales

Los materiales empleados en cada uno de los ítems que hacen parte de las obras de ingeniería verde, son:

840.2.1 Guadua rolliza o madera

Aunque las obras de ingeniería verde se pueden realizar con madera de diferentes especies, el insumo principal es la guadua rolliza o tolete de longitudes variables. Esto depende de la longitud de cada elemento, según sea las necesidades del proyecto. Los tamaños comúnmente usados son de dos metros (2 m) a seis metros (6 m) y con un diámetro promedio entre diez centímetros (10 cm) a catorce centímetros (14 cm). Debido a su estructura recta, resistencia, flexibilidad, peso liviano, facilidad de transporte y manejo dentro de la obra, dejándose acomodar fácilmente. Las guaduas deben ir selladas en sus extremos con sus tabiques naturales y no se deben rajarse ni perforar internamente.

En general, el número de guaduas necesarias en la construcción de un tramo de filtros tipo

uno (1), oscila entre dieciséis (16) y veinte (20) unidades o toletes de igual longitud, y entre ocho (8) a doce (12) unidades para los filtros tipo dos (2), variando según el diseño, la presencia de agua y el volumen necesario a evacuar. En el caso de los trinchos vivos cuando son utilizados para soportar al filtro biodegradable, el número promedio de guaduas oscila entre ocho (8) y catorce (14) unidades y cuando se construyen como vertedero, son utilizadas entre doce (12) y dieciséis (16) unidades dependiendo del diseño, del tipo de cauce y profundidad del mismo.

El número de guaduas usadas como travesaños en los trinchos vivos, oscila entre cuatro (4) y siete (7) unidades o toletes dependiendo del diseño y la longitud total del trincho.

Las cantidades exactas de guadua van a depender de la magnitud del área o longitud a ser tratada.

840.2.2 Material vegetal

Especies arbóreas de porte alto, arbustivas de porte medio y especies bajas, herbáceas o de cobertura, son el tipo de vegetación utilizada para revegetar. Este material va a ser seleccionado de acuerdo con las necesidades de uso del suelo, utilizando preferiblemente vegetación nativa y multiestrato. Y que no afecten la vegetación existente en la zona de intervención.

840.2.3 Materiales varios

Sacos en fique, yute u otro material biodegradable para formar los gusanillos.

El sellamiento o taponamiento de grietas, consiste en rellenar las mismas con material presente en la zona donde se presentó el deslizamiento, de preferencia arcilla.

Otros materiales que pueden ser necesarios en el proceso de revegetalización, son los abonos orgánicos y fertilizantes.

840.3 Equipo

El equipo a usar en la realización de implementaciones de las obras de ingeniería verde es básico y se refiere principalmente a herramientas manuales tales como: pica, pala, azadón, palín, barras metálicas, ahoyadores manuales o motorizadas, machetes, serruchos o sierras, motosierra, pisones de diámetro pequeño de cinco a seis centímetros (5 a 6 cm), pisones de diámetro grande de veinte a veinte cinco centímetros (20 a 25 cm), apisonador motorizado (canguro), manila de diez milímetros (10 mm) y herramienta manual menor como martillo, alicate, llaves fijas, etc. En caso de zonas de alta pendiente, el equipo de seguridad para trabajo en alturas puede ser requerido.

Solo se utiliza maquinaria y volquetas cuando sea necesario retirar material que este depositado en los sitios tratados.

840.4 Ejecución de los trabajos

Los ítems que hacen parte de las obras de ingeniería verde pueden ejecutarse en zonas geotécnicamente estables cuando, a partir de un análisis visual previo, se identifique que el talud presenta escasa o nula presencia de vegetación, el material superficial es fácilmente erodable en época de lluvias, presenta evidencia de formación de surcos o cárcavas debido a la escorrentía superficial, así como agrietamientos pequeños y superficiales. Se recomienda que este tipo de intervención sea tomado como medida de mitigación con el fin de disminuir posibles desplazamientos del terreno ante procesos de remoción en masa. Si el movimiento persiste en la zona de intervención, esta debe someterse a reevaluación.

Antes del inicio de los trabajos, el proyecto debe ser confrontado con una inspección visual y levantamiento topográfico en el terreno. Se debe verificar entre el constructor y el interventor para no deslegitimar el diseño que se toma de referencia. Si se disponen,

se recomienda el uso de herramientas fotogramétricas como material de apoyo para este labor. Esto con el fin de definir la ubicación final de cada de los elementos necesarios a ejecutar, bien sean los filtros vivos, trinchos vivos, zanjas de drenaje, taponamiento de grietas o todos en conjunto.

El proyecto debe ser configurado y diseñado en concordancia con el levantamiento topográfico y la condición vulnerable del terreno a controlar, debiendo ser confrontado durante el proceso constructivo para realizar el debido replanteo, informando previamente al interventor para su aprobación así, por ejemplo, en el caso de los trinchos vivos, la profundidad de excavación se obtiene al momento de encontrar un suelo de rechazo no saturado.

Si el suelo no se soporta por sí solo durante las excavaciones, se debe proceder a entibar convencionalmente con materiales accesibles y que permitan ajustarse a las geometrías variables de las excavaciones. Para realizar esta labor, se recomienda el uso de madera.

El profesional encargado debe realizar el diseño del entibado de acuerdo con las necesidades propias del proyecto, con previa aprobación del interventor.

Terminados los trabajos, el constructor debe remover y disponer todos los materiales sobrantes, en lugares aprobados por el interventor. Adicionalmente, debe tener en cuenta las medidas de manejo y protección ambiental propias del proyecto, al igual que las disposiciones vigentes, en especial las referentes a la explotación y uso de la guadua u otras especies, de tal forma que todo el material de guadua o madera usado debe contar con su respectivo salvoconducto al momento de ingresar al sitio de obra.

Como fue mencionado anteriormente, los ítems que conforman las obras de ingeniería verde trabajan en conjunto para el control de la erosión, manejo de escorrentía superficial y aguas subterráneas, a partir de eso,

su instalación y proceso constructivo es el siguiente:

840.4.1 Filtros vivos

Para estructurar el proyecto de filtros vivos y definir su localización debe llevarse a cabo una inspección de la zona a ser intervenida para identificar las cárcavas, drenajes naturales, afloramiento de agua en la superficie, terreno saturado y demás características que indiquen por donde se da el flujo preferencial del agua; permitiendo definir la configuración, inicio y culminación de los filtros que pretenden ser instalados. Con lo anterior, se busca abatir correctamente el nivel freático, controlar el flujo de agua en su área de influencia.

La construcción de los filtros, se realiza en el sentido de la pendiente, para evacuación rápida de las aguas subsuperficiales (Rivera, 2011), preferiblemente haciéndolos de arriba hacia abajo. De esta manera permiten la evacuación rápida de las aguas subterráneas que saturan el terreno, facilitando la ejecución de las obras. Si se presenta dificultades en el procedimiento por la presencia de cantidades considerables de agua, se debe iniciar zanjeando desde abajo para lograr drenar la zona.

La longitud de cada uno de los tramos del filtro se especifica en el diseño y está determinada por varios factores, siendo la pendiente y el volumen de agua a drenar, las dos variables más importantes. La separación de los filtros está definida en el diseño por el profesional encargado y puede variar dependiendo de la cantidad de agua que se encuentre en el sitio, si hay necesidad de modificaciones, estas deben ser definidas por el constructor con aval de interventoría.

Es factible que en el diseño se considere la colocación de pequeños tabiques entre cada piso de guaduas, los cuales se realizan con esterilla de la misma guadua, de tal manera que no superan los uno coma cinco centímetros

(1,5 cm), colocando tres esterillas, una hacia cada una de las puntas y una en el centro de la guadua.

El filtro tipo uno (1) o Principal debe descolar o terminar siempre en un sitio seguro, pues debe conducir el agua hasta la quebrada, río, cuneta o zanja de drenaje natural o construido. En todo caso siempre se debe procurar que el agua llegue hasta un sitio donde no haya probabilidad de infiltración o inicio de un proceso erosivo.

Para la construcción de los filtros vivos, debe realizarse en orden descendente, se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

1. Desmontar y limpiar el área requerida, la cual tendrá un ancho mínimo de un metro (1 m) a cada lado del eje del filtro.
2. Trazar el eje del filtro con un cordel bien templado, marcando los dos laterales con un palín.
3. Retirar el cordel y excavar una zanja en sentido de la pendiente. Se recomienda que la zanja tenga un ancho promedio de cero coma seis metros (0,6 m) y una profundidad entre uno coma dos metros (1,2 m) a uno coma seis metros (1,6 m) para los filtros tipo uno (1) y entre cero coma ocho metros (0,8 m) a uno coma dos metros (1,2 m) para los filtros tipo dos (2). Estas profundidades pueden llegar a tener variaciones dependiendo de las características intrínsecas del proyecto. Si el suelo no tiene auto sustentación durante la excavación, se debe hacer entibado. La inclinación final de la zanja debe ser uniforme.
4. Instalar trinchos vivos cada tres metros (3 m) a cuatro metros (4 m) a lo largo de la zanja con el objetivo de soportar los filtros vivos principales y secundarios. Los trinchos son construidos perpendicularmente

a la zanja y en forma escalonada, actuando de esta manera como sistema de confinamiento de cada tramo del filtro, evitando el desplazamiento de los mismos y/o el socavamiento de la base por parte de las aguas colectadas. La profundidad del trincho debe superar la del filtro.

5. Apilar las guaduas al interior de la zanja en forma organizada y en pisos sucesivos,

teniendo en cuenta la conservación del nivel del trincho, lo cual se garantiza intercalando la parte delgada (punta) con la parte gruesa de la guadua (base), tal como se ilustra en la Figura 840 - 3. El número de guaduas necesarias para este proceso en los filtros tipo uno (1), oscila entre dieciséis (16) y veinte (20) unidades o toletes de igual longitud, y entre ocho (8) a doce (12) unidades para los filtros tipo dos (2), variando

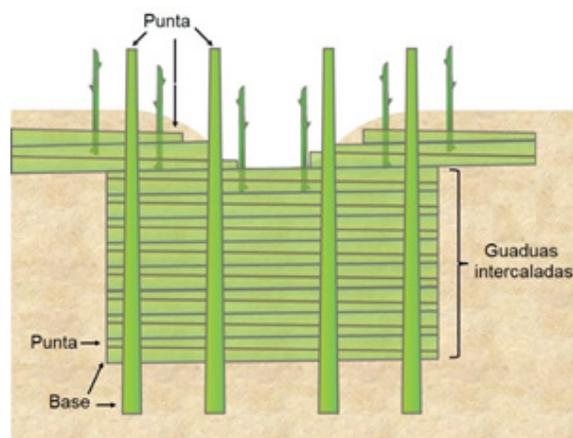


Figura 840-3. Esquema de la instalación de guaduas para trinchos con función de vertederos, intercalando base y punta.

según el diseño, la presencia de agua y el volumen necesario a evacuar. Las guaduas deben quedar bien apretadas entre ellas y contra los bordes de la excavación.

6. Colocar una capa de material vegetal sobre la última capa de guadua para evitar el taponamiento del filtro. El material que conforma esa "tapa" debe ser de fácil rebrote como ramas de árboles, pasto, maleza etc. En caso de que en el sitio sea difícil su consecución puede usarse una tela de fique, yute, lona o geotextil no tejido, según el diseño, la disponibilidad y el acuerdo con el interventor.
7. Rellenar con el propio material de excavación en capas sucesivas compactadas manualmente con un pisón ancho de veinte a veinticinco centímetros (20 a 25 cm), hasta llegar al nivel y pendiente del suelo original. El suelo no debe hundirse, es

decir, después de compactado debe quedar bien firme.

En el caso de construir una zanja de drenaje en la superficie del filtro, esta superficie debe ser compactada un poco más con un apisonador mecánico tipo canguro, en los sitios donde la pendiente lo permita.

840.4.2 Trinchos vivos

Los trinchos vivos son construidos principalmente en guadua, siendo la madera rolliza otra alternativa.

Para definir una aproximación de la distancia entre trinchos (DT), basta multiplicar la altura total del trincho (h) por cien (100) y dividir el resultado por la pendiente de la zanja en porcentaje (s).

$$DT = \frac{h}{s} * 100 \quad [840.1]$$

DT: tentativa de la distancia entre trinchos

s: pendiente de la zanja en porcentaje

h: altura total del trincho

Este valor debe ser definido en el proyecto y confrontado a partir de lo encontrado en campo, así como también su ubicación.

Dentro de las obras de ingeniería verde, los trinchos pueden desempeñar las siguientes funciones:

- Soporte de los filtros vivos principales y secundarios: actúa como sistema de confinamiento de cada tramo del filtro.
- Control de la erosión: los trinchos permiten disminuir el impacto producido por las aguas de escorrentía en drenajes o cauces de quebradas.
- Vertedero: los trinchos construidos a lo largo de una quebrada, cauce natural o artificial permiten reducir el impacto de la erosión sobre los lechos y las márgenes mediante la regulación del caudal en circulación.
- Trinchos escalonados: son estructuras biomecánicas establecidas en forma escalonada a lo largo de la pendiente longitudinal del terreno, pueden llegar a disipar la energía cinética del agua, controlar el arrastre de materiales, atenuar posibles inestabilidades del terreno y favorecer la recuperación de la vegetación. No son obras de contención.
- Estructuras disipadoras: Son estructuras biomecánicas establecidas en forma escalonada a lo largo del eje longitudinal de las cárcavas, surcos, zanjás, taludes, etc, pueden llegar a disipar la energía cinética del agua, controlar el arrastre de materiales, atenuar posibles inestabilidades del terreno y favorecer la recuperación de la vegetación. No son obras de contención.

La longitud de las guadas utilizadas para construir los trinchos vivos puede variar debido a la diferencia en profundidad a la que son enterradas, de tal manera que al cortarlas debe haber un exceso en la superficie. Su longitud de corte o emparejado se define al culminar la obra, pues según el relleno puede variar el número de guadas que conforman el trincho.

En los lugares que se requieran interrupciones o variación de la distancia entre estacones o pilotes, debe efectuarse un ajuste en el espaciamiento, variándolo gradualmente para que exista concordancia con los requisitos de resistencia, uniformidad y estética de los trinchos. En la medida que exista posibilidad de anclarlos lateralmente a algún elemento como rocas o incluso árboles, se debe aprovechar para un mejor funcionamiento de los mismos.

El hincado como sistema de instalación de los parales o pilotes es aceptado únicamente si se hace como complemento para darle mayor profundidad a lo especificado, en este caso se puede golpear de manera manual o mecánica los estacones hasta la profundidad deseada, teniendo en cuenta de no estallar la cabeza de la guada al momento de golpearla.

Los pasos para la instalación de los trinchos vivos son los siguientes:

1. Limpiar el talud, removiendo obstáculos y demás materiales que dificulten la ejecución de los trabajos. Debe tenerse en cuenta la existencia de árboles u otras especies vegetales valiosas que puedan ser de interés conservar.
2. Trazar el eje del trincho con un cordel bien templado. En el caso de ser construidos para soportar los filtros vivos o como vertederos, se marcan los dos bordes o laterales del filtro, cauce o quebrada con un palín y se retira el cordel.
3. Excavar con pico y pala una zanja dejando el material excavado a los dos costados,

de preferencia un mayor volumen en la parte inferior para evitar sobrecarga y su consecuente derrumbe.

Para trinchos que soportan filtros vivos, la zanja excavada debe ser perpendicular al eje longitudinal del filtro, tener un ancho igual a cero coma seis metros (0,6 m) y una profundidad mayor a la profundidad de desplante del filtro, aproximadamente unos diez centímetros (10 cm) a quince centímetros (15 cm) adicionales. Se recomienda construir un trincho cada tres metros (3 m) a cuatro metros (4 m) para evitar el desplazamiento de los filtros y/o el socavamiento de la base por parte de las aguas colectadas.

Para trinchos disipadores de energía de escorrentía, la excavación se hace de manera nivelada con una amplitud de cero coma seis metros (0,6 m) y con una profundidad media de cero coma cuatro metros (0,4 m).

En el caso de los trinchos construidos como vertederos para cauces o quebradas, la zanja excavada debe ser perpendicular al eje longitudinal de la quebrada, además de tener un ancho de cero coma seis metros (0,6 m) y una profundidad que ultrapase en treinta centímetros (30 cm) a cincuenta centímetros (50 cm) la base del cauce, evitando con ello futuras

socavaciones. Si el suelo no tiene auto sustentación durante la excavación se debe entibar.

- Realizada la excavación de la zanja, se procede a hacer perforaciones de un metro (1 m) a dos metros (2 m) de profundidad, en el caso de que los trinchos sean utilizados como vertederos o para soportar los filtros vivos. Si los trinchos son construidos para disminuir la energía de escorrentía, la profundidad de las perforaciones debe ser entre cero coma ocho metros (0,8 m) a uno coma dos metros (1,2 m); siendo estas profundidades dependientes de la dureza del material, estas perforaciones deben tener un ancho igual al ciento cincuenta por ciento (150%) del diámetro de la guadua o estacón que va a ser instalado, esto con el fin de facilitar el posterior llenado y compactación de la perforación (ver Figura 840-4).

La profundidad mínima es de un metro (1 m), si los planos no indican otra cosa, pero siempre teniendo en cuenta que, a mayor profundidad, mayor es la estabilidad de la construcción.

- Instalar verticalmente los estacones al interior de la perforación, manteniendo el alineamiento y la rasante establecida, aceptándose como máximo una desviación



Figura 840 - 4. Perforación para instalación de las guadas/estacones al interior de una zanja. Navarro Wolf, Jorge (2015) II seminario de bioingeniería de Bogotá.

de cincuenta milímetros (50 mm) respecto a la vertical, hacia los lados o hacia la parte alta de la pendiente, nunca hacia la parte de abajo. La separación entre las guaduas debe ser entre cero coma ocho metros (0,8 m) a un metro (1 m), con una tolerancia de más o menos diez por ciento ($\pm 10\%$).

La longitud total del trincho como soporte de filtros puede variar según el diseño, tipo de filtro y profundidad del mismo, siendo la más típica la de tres metros (3 m) de longitud y la mínima de dos coma cuatro metros (2,4 m), garantizando un distanciamiento mínimo de ochenta centímetros (80 cm) entre estacones y un sobrante al final de la guadua de diez centímetros (10 cm) para evitar desacomodos en los laterales. Cuando sea el momento de armar los trinchos se debe asegurar que las guaduas travesaños de estos, queden contra las puntas de las guaduas de los tramos de los filtros, eso asegura la continuidad de los últimos y por tanto la facilidad en la evacuación del agua.

Los trinchos con disipación para drenajes y cauces naturales con vertedero y cresta no deben tener una altura superior a un metro (1 m) y deben ir empotrados para evitar la socavación del fondo o lateral. En zonas de laderas deben llevar crestas y un vertedero (Figura 840 - 5), el cual debe tener una altura máxima por encima del cauce de la cárcava o quebrada igual a veinte centímetros (20 cm) y el ancho debe ser del ochenta por ciento (80%) del ancho de la amplitud de la zanja, de manera que permita el libre flujo del agua. Cuando sea necesario que la altura del vertedero por encima del cauce sea mayor a lo especificado, es necesario colocar un dissipador de energía en la base del mismo (puede construirse en guadua o en piedra) para impedir el impacto del agua directamente sobre el lecho.

Cuando es construido como vertedero, la longitud total del trincho puede variar según el ancho del cauce o corriente. El vertedero debe ser del ochenta por ciento (80%) del ancho del cauce y la dirección de instalación



Figura 840 - 5. Detalle construcción vertedero con Trinchos Vivos. Rivera Posada, José Horacio (2002) Avances técnicos CENICAFÉ 296.

de los trinchos debe ser de arriba para abajo, siguiendo la dirección del agua. Es importante que los trinchos vayan escalonados de tal manera que la altura del vertedero aguas abajo proteja la base de la estructura anterior (ver Figura 840 - 6).

6. Rellenar la perforación en capas sucesivas de máximo cinco centímetros (5 cm), compactadas manualmente con pisón metálico o de madera de diámetro pequeño de cinco a siete centímetros (5 a 7 cm), lo que garantiza el perfecto empotramiento

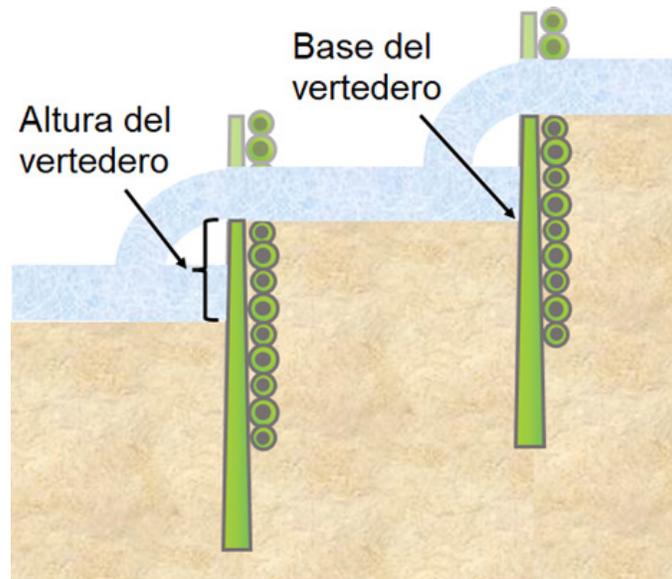


Figura 840 - 6. Esquema de la instalación escalonada de trinchos con la función de vertederos.

del estacón/pilote, quedando completamente inamovible. Debe utilizarse material seco, de fácil compactación y evitar excesos de agua o rocas de gran tamaño. Los pilotes también pueden ser hincados para dar mayor profundidad que lo especificado, siempre que no estalle la cabeza de la guadua al momento de golpearla.

7. El trincho se arma colocando una guadua a la vez y apilándolas una sobre otra desde la base hasta la superficie en una sola línea, conservando a nivel, lo cual se garantiza intercalando la parte delgada (punta) con la parte gruesa de la guadua (base), tal como se mostró en la Figura 840 - 3. Se realiza el relleno con el mismo material excavado y la respectiva compactación del mismo con pisón manual metálico o de madera, asegurando que no queden espacios libres o bolsas de aire entre cada dos (2) guaduas instaladas.

En el caso del vertedero, se van recortando gradualmente las guaduas laterales,

dejándolas empotradas en las crestas y formando el vertedero. Las crestas al lado y lado del vertedero deben tener una altura entre treinta centímetros (30 cm) y cincuenta centímetros (50 cm) a partir del lecho e ir empotradas en el talud del cauce con la ayuda de al menos dos (2) parales o pilotes adicionales. El trincho debe enterrarse entre treinta centímetros (30 cm) a cincuenta centímetros (50 cm) por debajo del cauce.

8. Para finalizar el trincho, se compacta el suelo de la superficie con un pisón de mayor diámetro de veinte a veintidós centímetros (20 a 22 cm), metálico o de madera, dejando el terreno apto para la posterior siembra del material vegetal (revegetación). En el caso de realizar en la superficie una zanja de drenaje, se deben cortar las dos (2) últimas guaduas usadas como travesaños a manera de vertedera con el propósito de asegurar la funcionalidad y permanencia del trincho. La Figura 840 - 7 muestra el corte lateral de esta estructura.

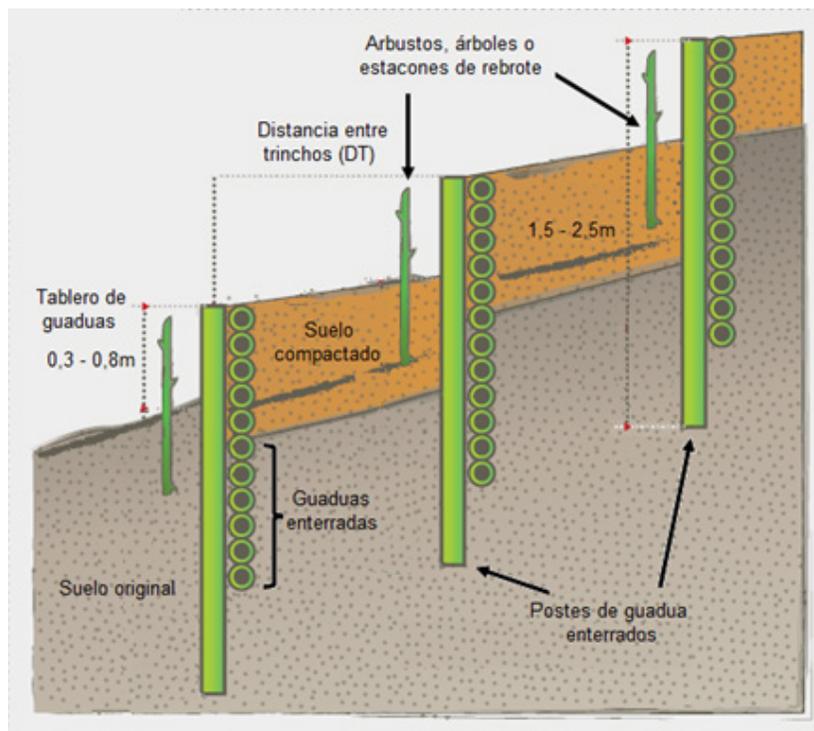


Figura 840 - 7. Modificado - Vista en perfil de trinchos instalados. Rivera Posada, José Horacio (2015), Manual de procedimientos para el manejo de procesos denudativos con obras de Bioingeniería.

840.4.3 Zanjas de drenaje

Para la elaboración de una Zanja de drenaje se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se realiza la marcación del punto inicial y final de la zanja, previendo algunos cambios en la alineación para controlar la velocidad del flujo del agua, evitando con ello la erosión. El ancho y profundidad de las zanjas varía y va a depender principalmente de la cantidad de agua a evacuar. Una medida común es cero coma seis metros (0,6 m) de ancho y cero coma dos metros (0,2 m) de alto. No requieren preparación previa de la superficie.
2. Ejecución de la excavación y deposición del material excavado a manera de montículo en ambos costados de la zanja, aumentando la profundidad y dando mayor consistencia a la misma.

A lo largo de la zanja de drenaje es conveniente que se construyan disipadores simples en guadua o madera con el fin de disipar la energía del agua, evitando socavación y por supuesto profundización excesiva, a mayor pendiente menor distancia debe haber entre los disipadores.

En todos los casos, las zanjas deben tener un perfil redondeado a manera de medio círculo y no uno cuadrado (bordes rectos), eso garantiza que persistan por más tiempo, permitiendo su revegetalización más rápidamente y que se vean afectadas en menor medida por pisoteo de ganado. En ningún caso se reciben zanjas de taludes verticales.

840.4.4 Gusanillo o montículo

Los gusanillos son formados a partir de un amontonamiento de tierra en forma de montículo de aproximadamente un metro (1 m)

de ancho y cero coma cuatro metros (0,4 m) de alto. Para la ejecución de este proceso no se requiere preparación previa de la zona. El material puede extraerse del mismo local del proyecto, de excavaciones previas, realizando acopiamiento de material superficial o de excavaciones provenientes de alguna zona cercana, siendo amontonando de manera gradual y paulatina, formando el montículo o medio círculo con el ancho y altura recomendados. Posteriormente se compacta con un pisón de base ancho. Normalmente se realiza una zanja en el lateral para ayudar en la conducción del agua.

Otra manera de formar el gusanillo o montículo es llenando bolsas de fique u otro material con suelo de la zona, para luego acomodarlas a lo largo con un ligero traslapo entre ellas, dándole continuidad y consistencia al mismo. Este método tiene mayor rendimiento y se usa generalmente cuando el gusanillo es provisional.

Cuando el gusanillo es permanente, debe buscarse la revegetalización del mismo, para lo cual es necesario adicionar semillas de pastos o arvenses e incluso estolones de especies rastreras de rápido desarrollo; una vez cubierto se incorpora al paisaje, cumpliendo permanentemente con su función.

840.4.5 Taponamiento de grietas

En caso de la existencia de grietas en la zona del proyecto, debe procederse al taponamiento de las mismas de manera manual y paulatina, marcando con estacas el inicio y fin de cada una de las grietas.

Se retira la vegetación adyacente y se coloca material de relleno, preferiblemente de tipo arcilloso o con la característica de baja permeabilidad, por capas desde el fondo de cada grieta, compactando adecuadamente con un pisón metálico o de madera hasta llegar al borde o superficie deseada. El diámetro del pisón debe ser aproximado al tamaño de la grieta.

840.4.6 Revegetalización

La revegetalización de la zona se realiza una vez culminada las labores constructivas con la guadua, es decir los filtros vivos, trinchos vivos, disipadores, etc, para revegetar pueden ser utilizadas especies arbóreas de porte alto, arbustivas de porte medio y especies bajas, rastreras o de cobertura, todas ellas preferiblemente nativas y definidas en el diseño del proyecto. Estas plantas pueden ser obtenidas en viveros o por estacas.

En el caso de árboles superiores se procede a sembrarlos según especificación general INV-820 Plantación de árboles. En cuanto que, para la siembra de estacas, la elección de la especie y la definición de la distancia de siembra están sujetas a lo establecido en el proyecto, previa confrontación en el sitio de los trabajos por parte del constructor y el interventor. La vegetación de porte bajo o rastrera puede ser sembrada esparcida al voleo, siembra de plántulas o con cespedones.

En el caso que se decida sembrar árboles provenientes de viveros, también se aplica la especificación general INV-820 Plantación de árboles. Se pueden sembrar árboles de vivero en tres bolillos, a cada tres metros (3 m).

Se recomienda conformar un bosque primario alrededor de los filtros principales con especies arbóreas de porte alto o medio. Para esto se siembran, a una distancia de un metro (1 m), estacas vivas a lo largo de los filtros y/o al pie de los trinchos, para lo cual se seleccionan especies que se multipliquen fácilmente mediante esta técnica. Las estacas vegetales que mejor rebrotan son aquellas con diámetro superior a cinco centímetros (5 cm). En la Tabla 840 - 1 se muestra el desarrollo biológico de material vegetativo sembrado por estacas.

El abono orgánico, el fertilizante y demás enmiendas, pueden ser aplicados al momento de la siembra y ser usados durante la etapa de mantenimiento.

Deben ser programados dos (2) mantenimientos en un período de tres (3) meses al terminar la obra, para garantizar el crecimiento de las especies arbóreas en la fase inicial. Durante este periodo se deben realizar riegos

periódicos y aplicar el “plateo” de los alrededores de los árboles, con el fin de evitar la “competencia” entre las especies herbáceas con las arbóreas y arbustivas, evitando que las “asfixie” al impedir su crecimiento.

Tabla 840 - 1. Desarrollo biológico de material vegetativo sembrado por estacas.

Especie	Meses de siembra	Rebote de estacas (% promedio)	Crecimiento promedio (cm)
Guadua angustifolia (Guadua)	1	10	2
	10	8,7	51
Gliricedia sepium (Matarratón)	1	70	2
	2	90	8
	3	50	50
Gynerium saggitatum (Caña brava)	1	30	2
	10	80	250
Trichanthera gigantea (Nacedeo)	1	52,6	5
	1,5	80	15
	4	80	65
	6	96	210
			10

Rivera Posada, José Horacio (1998) Avances técnicos CENICAFÉ 256.

840.4.7 Manejo ambiental

Este tipo de procesos constructivos se caracteriza por utilizar materiales compatibles con el medio ambiente, por lo cual se consideran impactos ambientales mínimos o nulos, sin embargo, cualquier procedimiento que se requiera para el diseño, locación y ejecución de trabajos y/o entrega y abandono de obras; debe tener en cuenta lo expuesto en el artículo 106, Aspectos ambientales.

840.5 Condiciones para el recibo de los trabajos

Las condiciones para el recibo de los trabajos de las obras de ingeniería verde son las siguientes:

- Constatar que se cuente con los permisos prediales para la intervención antes de iniciar las obras.

- Verificar el estado y el funcionamiento del equipo empleado por el constructor.
- Verificar el cumplimiento de todas las medidas requeridas sobre seguridad y medio ambiente.
- Verificar las excavaciones, el armado de los Filtros y Trinchos Vivos, el relleno y compactación del material al momento de la construcción del filtro, instalación de los estacones y travesaños del trincho.
- Específicamente para los trinchos vivos, revisar que este se encuentre a nivel y que los pilotes estén inamovibles manualmente con fuerza humana.
- En el caso de las zanjas y gusanillos, verificar que el agua sea dirigida fuera del talud o zona que se desea drenar.

- En el caso del taponamiento de grietas, verificar que todo el material vegetal fue retirado del fondo de la grieta para la correcta compactación del material y garantía del trabajo.
- La revegetalización debe ser verificada a los tres (3) meses de haber terminado la obra, como garantía del establecimiento de la vegetación.
- Verificar que todos los procedimientos se construyan de acuerdo con el diseño planeado (planos) o de acuerdo a las necesidades de modificación definidos a partir del comportamiento y existencia de agua en el terreno.
- Comprobar que los trabajos se ajusten a las exigencias de esta especificación.
- El interventor debe medir, para efectos de pago, la cantidad de obra correctamente ejecutada.
- Verificar que durante la instalación de las guaduas, no se excedan los cincuenta milímetros (50 mm) de desviación respecto a la vertical, hacia los lados o hacia la parte alta de la pendiente, nunca hacia la parte de abajo de la misma.

840.6 Medida

Las unidades de medidas establecidas para los ítems que componen las obras de ingeniería verde son metro (m) para los filtros vivos, trinchos vivos, zanjas de drenaje, gusanillos y taponamiento de grietas, la unidad (u) para

las especies arbóreas y arbustivas sembradas y metros cuadrados (m^2) para las especies rastreras. En el caso en que sea necesario entibar, el valor de esta actividad será adicionada en metro cuadrado (m^2), y se debe obtener como resultado de la multiplicación del alto por el largo de cada una de las caras de la zanja debidamente soportada o entibada. Cuando se presentan excavaciones con profundidades mayores a uno coma ocho metros (1,8 m), es necesaria la inclusión de una actividad denominada excavación especial en metro cúbico (m^3).

840.7 Forma de pago

El pago debe hacerse al respectivo precio unitario, teniendo en cuenta las unidades establecidas y las dimensiones según planos en planta del proyecto, contrastando con las cantidades en obra ejecutadas. El precio debe cubrir todos los costos correspondientes al suministro de materiales, desmonte y limpieza del área de construcción, replanteo, excavaciones, entibados, transporte de la guadua, instalación de la guadua o armado de los filtros y/o trinchos vivos, tapado del filtro, relleno y compactación del material de relleno, limpieza final del área de trabajo, desperdicios y en general todo costo relacionado con la correcta ejecución del trabajo especificado. Todos los costos de las actividades incluyen administración, imprevistos y utilidades del contratista.

En el caso específico de la revegetalización, el precio unitario debe incluir el mantenimiento a realizar en los tres (3) meses de soporte, posterior a la culminación del proyecto.

840.8 Ítem de pago

Ítem	Descripción	Unidad
840.1	Construcción filtro vivo Tipo 1 o principal	Metro (m)
840.2	Construcción filtro vivo Tipo 2 o secundario	Metro (m)
840.3	Trinchos vivos	Metro (m)
840.4	Zanja de drenaje	Metro (m)
840.5	Gusanillo o montículo	Metro (m)
840.6	Taponamiento de grietas	Metro (m)
840.7	Revegetalización multiestrato con especies arbóreas y arbustivas sembradas	Unidad (u)
840.8	Revegetalización multiestrato con especies rastreras	Metro cuadrado (m ²)
840.9	Entibado (opcional)	Metro cuadrado (m ²)
840.10	Excavación especial H>1,8 m	Metro cúbico (m ³)
840.11	Pago de guadua a distancias mayores a 100 m	Metro (m)

Nota: Plantación de especies arbóreas no incluidas en el numeral 840.7 y 840.8 se deben pagar de acuerdo a la especificación general INV-820. Plantación de árboles.