

**ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL USO DE LA BIOINGENIERÍA EN
PROCESOS EROSIVOS EN COLOMBIA**

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL



AUTOR:

ALBEIRO LÓPEZ CLAVIJO

TUTOR:

Ing. EDGAR RODRÍGUEZ RINCÓN

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

MAYO DE 2020

**ESTADO DEL CONOCIMIENTO SOBRE EL USO DE LA BIOINGENIERIA EN
PROCESOS EROSIVOS EN COLOMBIA**

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL

ALBEIRO LÓPEZ CLAVIJO

Ing. EDGAR RODRÍGUEZ RINCÓN

Tutor

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
MANIZALES, CALDAS

MAYO DE 2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. OBJETIVO GENERAL	4
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	5
4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	5
4.2. TÉCNICA E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	6
5. MARCO TEÓRICO	6
5.1. DEFINICIÓN DE BIOINGENIERÍA.....	7
5.2. VENTAJAS DE LA BIOINGENIERÍA.....	9
5.3. TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA APLICADAS EN LA ESTABILIZACIÓN DE LADERAS	13
5.3.1. Trinchos en guadua	13
5.3.2. Gaviones en saco suelo sembrado.....	15
5.3.3. Canales en suelo cemento	18
5.3.4. Estacas.....	20
5.3.5. Entretejido de taludes	22
5.3.6. Cubrimiento con fibras.....	23
5.3.7. Hidrosiembra.....	25
5.3.8. Cajuelas	26
5.3.9. Céspedes	27
5.3.10. Estacas vivas	28
5.3.11. Terraceos o Taludes en Escalera	32
6. ESTADO DEL ARTE.....	34
6.1. CONSTRUCCIÓN DE BASE DE DATOS	37
6.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	38
6.2.1. Técnica de trinchos.....	39

6.2.2. Técnica de gaviones en saco suelo sembrado	41
6.2.3. Técnica canales en suelo cemento.....	42
6.2.4. Técnica de Estacas	43
6.2.5. Técnica de entretejido de taludes	44
6.2.6. Técnica de cubrimiento con fibras	46
6.3. LIMITACIONES DE LA APLICACIÓN DE LA BIOINGENIERÍA.....	52
6.4. CONDICIONES EN LAS QUE SE PUEDE IMPLEMENTAR LA BIOINGENIERÍA.....	53
6.5. ANÁLISIS	55
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
7.1. CONCLUSIONES.....	58
7.2. RECOMENDACIONES	60
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Funcionalidad de las Estacas	21
Tabla 2. Técnicas y prácticas de bioingeniería en taludes	23
Tabla 3. Funcionalidad de Fajinas vivas	30
Tabla 4. Documentos y tesis analizadas	38
Tabla 5. Técnicas de bioingeniería más utilizadas.....	56

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Trinchos en guadua.....	14
Figura 2. Gaviones en saco suelo semillado	15
Figura 3. Canales en suelo cemento.....	20
Figura 4. Estacas.	20
Figura 5. Entretejidos de taludes.....	22
Figura 6. Trabajos de cubrimiento con fibra de coco.	24
Figura 7.Trabajos de cubrimiento con fibra de coco.	24
Figura 8. Trabajos de hidrosiembra Antioquia-Liborina.	25
Figura 9.Trabajos de hidrosiembra Antioquia-Liborina.	26
Figura 10. Detalle de cajones de ramas.	27
Figura 11.Céspedes.	28
Figura 12. Fajinas Vivas.	29
Figura 13. Estructura de la planta.	30
Figura 14. Terraceo o taludes en escalera.....	33
Figura 15. Terraceo.....	33
Figura 16. Bioingenierías más utilizadas.	56

1. Introducción

La realización de obras de bioingeniería en Colombia ha venido creciendo en los últimos años, esto se debe a que las técnicas han presentado una evolución mediante la cual se han convertido en alternativa muy beneficiosa para solventar los retos de la ingeniería en el territorio colombiano. En términos generales, la bioingeniería se adapta de una muy buena manera a los problemas y contingencias que se presentan en las áreas a intervenir, por ejemplo, la necesidad de estabilizar taludes, que es un reto de ingeniería actual.

La implementación de obras de bioingeniería aparece como una alternativa viable, para lograr prevenir las erosiones y deslizamientos de tierra, debido a que es mediante la construcción de obras que se logra captar y disminuir la velocidad de las aguas de escorrentía e infiltración, evitando los procesos erosivos y la saturación de terrenos, responsables de la generación de los movimientos en masa.

En otras palabras, la bioingeniería en Colombia tiene que dar solución a problemáticas propias de los terrenos (erosión, movimientos masales) que caracterizan las cordilleras en las cuales se concentra gran parte de la población del país. Efectivamente, la aplicación de las técnicas de Bioingeniería parte de la caracterización de un área a intervenir, siendo necesario tener muy presentes factores como la geología, el clima, actividades antropogénicas, la fauna y la flora, pues ellas permitirán evaluar el área afectada y así identificar sus diferentes componentes.

En medio de esta revisión de material investigativo se ha encontrado que las técnicas de bioingeniería representan actualmente, no solo una alternativa eficaz para tratar las problemáticas, sino que también representan ventajas en lo que respecta a los recursos

económicos que se requieren para el tratamiento de las contingencias de la ingeniería. Como su nombre lo indica, la bioingeniería consiste en dar solución a requerimientos de ingeniería mediante el empleo de técnicas que involucran la utilización de materiales de la naturaleza, por lo que es una manera de solventar las problemáticas con un impacto mucho menor sobre el entorno, si se comparan con las técnicas de la ingeniería tradicional.

En este mismo orden de ideas, se han seleccionado una serie de trabajos que han contribuido a reconocer los diferentes procesos a nivel nacional, donde se pueden evidenciar las principales problemáticas y características que tienen las áreas de intervención, para luego saber qué obra implementar y qué especies se deben utilizar en la estabilización de los taludes.

La Bioingeniería presenta un conjunto de técnicas que ofrecen soluciones a problemas de inestabilidad en masas de suelo, donde los ingenieros pueden encontrar un complemento adecuado a las técnicas tradicionales de estabilización, normalmente utilizadas en la ingeniería civil, llevando a la implementación de materiales naturales que cumplen con normativas técnicas específicas, de acuerdo a su funcionalidad, resistencia, contención, rehabilitación, bajos costos, entre otros.

En la presente investigación se lleva a cabo una revisión interpretativa de trabajos que se concentran en esta temática; así mismo, se realiza una revisión sistemática de trabajos de investigación ya realizados, con los cuales será posible establecer la factibilidad y utilidad de las obras de bioingeniería, como alternativas de estabilización en masas de suelo ya deslizadas.

En medio de esta revisión de material investigativo se ha encontrado que las técnicas de bioingeniería representan actualmente, no solo una alternativa eficaz para tratar las

problemáticas, sino que también representan ventajas en lo que respecta a los recursos económicos que se requieren para el tratamiento de las contingencias de la ingeniería. Como su nombre lo indica, la bioingeniería consiste en dar solución a requerimientos de ingeniería mediante el empleo de técnicas que involucren la utilización de materiales de la naturaleza, por lo que es una manera de solventar las problemáticas con un impacto mucho menor sobre el entorno, si se comparan con las técnicas de la ingeniería tradicional.

2. Justificación

La bioingeniería comprende un conjunto de técnicas alternativas por medio de las cuales los ingenieros pueden dar repuesta a requerimientos propios de diferentes terrenos y solucionar problemas estructurales y de contención. La diferencia con la ingeniería tradicional estriba en que las técnicas involucren la utilización de materiales naturales que se conjugan con el entorno del terreno a intervenir, al tiempo que se solucionan las problemáticas ingenieriles de manera oportuna. Otra de las ventajas que ofrece la bioingeniería es el costo, ya que, mediante el empleo de técnicas de bioingeniería, los proyectos pueden ser realizados con una menor cantidad de recursos económicos, pues los biomateriales pueden ser conseguidos cerca de los terrenos a intervenir.

Se entiende por lo anterior, que el empleo de bioestructuras, promete una mejor adaptabilidad con los recursos naturales, mediante el desarrollo de diferentes técnicas aplicadas a las obras de bioingeniería, que ofrecen unos beneficios reflejados en un menor impacto ambiental, específicamente en el caso de contención de masas sueltas, donde la bioingeniería es utilizada como un elemento de refuerzo y disminución del desplazamiento del suelo.

Con el desarrollo de esta investigación se pretende, elaborar un estado del conocimiento sobre el uso de la bioingeniería para zonas de laderas en procesos de remoción de masas y proponer alternativas para mejorar las técnicas de recuperación de procesos erosivos, caracterizar las técnicas de bioingeniería y precisar el impacto que han tenido estos proyectos en el país. También se quiere mostrar el impacto que han tenido las distintas técnicas de bioingeniería aplicadas en Colombia, las cuales han representado alternativas de estabilización y mitigación de problemáticas en todo el territorio nacional.

Hernández Bernal (2016), señala la importancia de dichas tecnologías utilizadas y ajustadas para la mitigación de zonas inestables, en el manejo de las aguas superficiales y subsuperficiales, estudiando las propiedades técnicas y biológicas de los elementos vegetales como elementos de construcción en obras de recuperación ambiental.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Elaborar un estado del conocimiento sobre el uso de la bioingeniería para zonas de laderas en procesos de remoción de masas, en niveles desde los 1000 hasta los 3000 m.s.n.m. en Colombia.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las técnicas de bioingeniería y señalar las implicaciones de su aplicación en diferentes terrenos y situaciones a partir de experiencias en Colombia, en especial las situaciones en las que se han utilizado técnicas como trinchos en guadua, siembras vivas, gaviones en saco, suelo semillado, canales en suelo cemento, entre otros.

- Establecer las limitaciones en la aplicación de la bioingeniería como complemento de la ingeniería civil.
- Precisar el impacto que han tenido estos proyectos en el país en alturas desde los 1000 hasta los 3000m.s.n.m

4. Diseño metodológico

4.1. Tipo de investigación

La investigación realizada para la elaboración de este documento, es de tipo documental enfocada en la búsqueda, recopilación, análisis e interpretación de datos obtenidos de otros trabajos de investigación, con el fin de construir un estado del arte que aporte conocimientos acerca del tema objeto de este estudio. Se ha procedido decantando los términos clave que sintetizan los intereses a los que apunta la investigación (estado actual de la bioingeniería en Colombia), posteriormente, se ha hecho uso de diferentes buscadores académicos para reforzar la información general recaudada sobre el tema. Adicionalmente, se seleccionó bibliografía de diferentes bases de datos y repositorios de varias universidades del país, elegida sobre criterios de pertinencia, actualidad y rigurosidad en el tratamiento de la problemática a disipar.

Los trabajos elegidos concentran sus propósitos investigativos en el tema de la bioingeniería y todo lo que representa para la ingeniería colombiana en términos de aplicabilidad, resultados, experiencias, tipos de técnicas que se adaptan a los terrenos, caracterización de las problemáticas en el territorio, contingencias subsanadas mediante técnicas de bioingeniería, etc. Las investigaciones que hacen parte del presente estado del arte fueron analizadas e interpretadas de manera ordenada, siguiendo criterios de tiempo, lugar de producción, profundidad para abordar

el problema y rigurosidad de las conclusiones. Luego se procedió a extraer del material consultado, el conocimiento teórico y práctico que permitió concretar los objetivos para llevar a cabo una caracterización del estado actual del empleo de la bioingeniería en Colombia.

4.2. Técnica e instrumentos para la recolección de datos

a. Revisión de información: con el fin de ampliar y aclarar conceptos sobre las diferentes técnicas de bioingeniería en el territorio colombiano, se profundizó la búsqueda de los términos claves con el apoyo de diferentes fuentes bibliográficas.

b. Recolección de información primaria: en este paso, se procedió a organizar el material necesario para el desarrollo de la investigación reconociendo la problemática, el enfoque metodológico e investigativo, asegurando la solidez de los resultados.

c. Análisis e interpretación de la información: se realizó una descripción estilo reseña de las bibliografías obtenidas, señalando las similitudes de los casos, las técnicas empleadas y las características y requerimientos de los terrenos intervenidos mediante bioingeniería, logrando el documento final.

5. Marco teórico

Se ha podido establecer a lo largo de la investigación, que la bioingeniería ha tenido una incidencia comprobada en la mitigación de problemas erosivos, el manejo de aguas en pendientes y en la estabilización de laderas al lado de los cauces, al punto que estas técnicas han representado para muchas comunidades sin recursos económicos, las alternativas inmediatas para hacer frente a las diferentes inestabilidades que se viven a diario en los campos y ciudades del país. En términos generales, estas alternativas de bioingeniería han permitido desarrollar grandes

obras de estabilización, aportando características especiales de disminución de las propiedades hidráulicas por medio de la revegetalización contribuyendo en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos en terrenos de alta pendiente.

5.1. Definición de Bioingeniería

De acuerdo con los postulados de Grey y Sotir (1999), la bioingeniería es considerada como algo único dadas sus características, en el sentido que las mismas partes de las plantas sirven como elementos de anclaje, disminuyendo la erosión del suelo, evitando así el desprendimiento de las laderas, las cuales se transforman a través del tiempo en obras vivas que sirven como refuerzo mecánico de los suelos, que previenen y contienen la erosión y los movimientos masales.

Como lo señalan Grey y Sotir (1999) “el uso de las plantas vivas y otros materiales naturales, es una práctica que se ha usado por siglos para controlar los problemas de erosión en suelos de ladera y a lo largo de las orillas de los ríos en diferentes partes del mundo”. Es evidente que el uso de especies endémicas como método para el control de la erosión, representa una ventaja en lo que se refiere a optimización de los recursos existentes en la zona a intervenir.

Estos materiales naturales y métodos de control de erosión llegaron a ser menos populares con la llegada de la revolución industrial, que hizo regular el uso del concreto. El abandono de las técnicas de bioingeniería, en favor de las estructuras rígidas y estables que eran posibles gracias a las cualidades estructurales que ofrecieron el concreto y el acero, se debió a que eran materiales de bajo costo para la época. En los Estados Unidos la tendencia hacia el abandono de la vegetación y las estructuras naturales para control de erosión y protección de laderas fue

relativamente rápida y pronunciada. Esta tendencia fue estimulada por el costo bajo de la energía, de la mano de obra y la distribución y abundancia de la materia prima necesaria en la fabricación del acero y el concreto (Franti, 1997).

El uso de los métodos bioingenieriles data en China desde antes del siglo XII cuando fueron utilizados gran cantidad de arbustos para estabilizar taludes. Al comienzo del siglo XX, técnicas similares fueron usadas en este mismo país para controlar inundaciones y erosión a lo largo del río amarillo, Franti(1997), Hernández y Suescún(2016). Hoy en día, mediante el uso de materiales que se pueden hallar en los entornos inmediatos de las zonas a intervenir y la creación de nuevos materiales producto de procesos modernos, facilitan una respuesta práctica a problemas de ingeniería. Según Mitsch (1998) y Jorgensen (2003), se debe tener en cuenta que la bioingeniería fue definida como “el diseño de ecosistemas sostenibles que integran la sociedad humana con su medio natural para el beneficio de ambos”, estos conceptos han ido evolucionando con los años.

La razón de ser de la bioingeniería es muy afín a la perspectiva ecológica de diseño e innovación que la sociedad ha querido adoptar recientemente; además de constituirse a partir de técnicas de manejo eficaz de contingencias y requerimientos ingenieriles, la bioingeniería está pensada para mejorar las condiciones medioambientales y tratar los problemas de ingeniería desde sus causas y no desde sus efectos, logrando mediante este proceso, un acople de las obras con el entorno y una sostenibilidad a futuro de estas, lo que deviene en un beneficio mutuo tanto para el hombre como para la naturaleza circundante.

En términos históricos, como lo señalan Gray y Sotir (1999) “el uso de la bioingeniería en los Estados Unidos data de los años 1920 - 1930 y las aplicaciones más comunes fueron para la

estabilización de orillas de arroyos, caminos, carreteras y restauración de taludes, experiencia similar que se experimentó en Europa. Es de señalar que muy pocos practicantes continuaron con el empleo de las técnicas de bioingeniería, para el año 1930 varios profesionales de diversas disciplinas tuvieron éxito mediante el empleo de los conceptos básicos de la bioingeniería del suelo, utilizando técnicas como el uso de sauce vivo, construcción de muros de piedra combinados con recortes de madera y muros con incrustaciones de vegetación.

La bioingeniería ha experimentado un resurgimiento en los últimos veinte años, llegando a ser percibida “como una técnica reemergente para el control de la erosión, por ser estructuras estéticamente agradables y ambientalmente seguras”, Franti, (1997). La razón elemental de la relevancia que ha tenido la bioingeniería en los últimos años es el auge de la experimentación y desarrollo de nuevos materiales, llegando al desarrollo de procesos industriales sofisticados, que logran constituir a partir de materiales simples (p. e fibra de coco), materiales para estructuras que pueden resolver eficazmente necesidades de contención de masas, drenaje de fluidos, control de erosión, etc.

5.2. Ventajas de la Bioingeniería

La bioingeniería no es nada nuevo en la manera en cómo los hombres resuelven y enfrentan problemáticas a diario en el sitio donde viven, pues estas técnicas ofrecen alternativas a los problemas estructurales y demás cuestiones ingenieriles a costos muy bajos con soluciones inmediatas; siendo un antiguo conjunto de técnicas que se pueden definir por la predominancia de materiales naturales o derivados en sus aplicaciones, es por eso que la bioingeniería representa una manera de dar solución a problemáticas que a diario enfrentan las comunidades

más apartadas y que no cuentan con recursos económicos para enfrentar problemas erosivos que afecten y pongan en riesgo las personas y su entorno. Estas alternativas ofrecen una respuesta eficiente en términos de tiempo, recursos económicos, materiales a emplear y mano de obra.

Al emplear técnicas de bioingeniería, se debe tener en cuenta, tanto sus antecedentes históricos, como su actualidad, de esta manera se podrá evaluar la técnica que mejor se adaptaría al terreno en el que se haya hecho la evaluación del sitio. Refiere Franti, (1997), que “La bioingeniería ha sido practicada ampliamente y en forma exitosa en Europa, especialmente en Alemania, donde los métodos bioingenieriles han sido usados por más de 150 años”

La diferencia de las técnicas que se conocen como bioingeniería y las técnicas de la ingeniería tradicional radica en que las técnicas de bioingeniería son renovables y se acoplan con el entorno de manera que son más amigables, al tiempo que resuelven de manera funcional una necesidad ingenieril.

Rice (1977) citado por Flórez (1986), afirma que la bioingeniería es considerada como algo único en el sentido que las mismas partes de las plantas sirven como elementos mecánicos a la estructura principal en los sistemas de protección de laderas y con el tiempo las raíces de las plantas incrementan el refuerzo mecánico por la mayor cohesión del suelo, disminuyen la presión de poros mediante la evapotranspiración, e incrementan la resistencia de éste al cortante tangencial y con ello, la estabilidad del terreno. Estas estructuras a través del tiempo se convierten en refuerzo mecánico, drenaje hidráulico y barreras para prevenir y contener la erosión y los movimientos masales.

Barrera (2015), señala que es necesario el desarrollo de prácticas eficientes para la conservación de los suelos de ladera, como la construcción de trinchos vivos, los cuales han

servido para determinar las bondades de estas técnicas y sistemas bioingenieriles a la hora de abordar problemáticas de ingeniería mediante su aplicación. Actualmente son muchos los casos en los que se han usado dichas técnicas en la región cafetera colombiana, dando como resultado estructuras que cumplen de manera satisfactoria sus funciones y se acoplan con el entorno al impactar el ecosistema lo mínimo posible.

Dentro de todo este estudio se han podido encontrar varios referentes que llevan largos años de investigación en las técnicas de bioingeniería, adicionalmente se tiene en cuenta las experiencias vividas por las diferentes entidades tales como gobernaciones, alcaldías, instituciones y corporaciones autónomas del país, que han visto en esta técnica, grandes ventajas ambientales y económicas si se complementan adecuadamente.

Rivera y Sinisterra (2006), aseveran que en términos generales, los problemas de erosión y movimientos masales son controlados tradicionalmente mediante obras mecánicas de ingeniería convencional demasiado costosas, que en ocasiones pueden superar el costo del terreno a intervenir, lo que lleva al abandono de estas, antes que realizar cualquier práctica que contrarreste el proceso de degradación. Dado lo anterior, se hace necesario que surjan alternativas que no desestimen su ejecución por los altos costos que acarrearán y se adopten técnicas de bioingeniería como una solución viable a los problemas presentes.

Para Swanston, citado por Flórez (2014) “La tala completa de la vegetación arbórea para el establecimiento de pastos y cultivos genera una inestabilidad de las formaciones superficiales expresada por una gran cantidad de movimientos en masa”. Las cordilleras colombianas, naturalmente, se mantienen estables por el efecto de la vegetación nativa que las caracteriza, en

este sentido, esa misma vegetación nativa debe servir para lograr que las construcciones humanas lleguen a una sostenibilidad con el entorno.

El enraizamiento de la materia vegetal tiene una incidencia determinante en la estabilización y adecuación de los suelos para soportar obras bioingenieriles, su incidencia en los terrenos se puede notar “en la disminución de la erosión, teniendo en cuenta su longitud, profundidad y relación raíces suelo, aumentando la resistencia a la erosión” según Barrera, Rivera y Cadena, (2002).

La consolidación de las estructuras vegetales en los terrenos intervenidos es determinante, para que sea un proceso exitoso, por tanto, los ingenieros deben estudiar bien las condiciones y las posibilidades bioingenieriles que ofrece el terreno a intervenir.

Según Escobar (2016) citado por Rivera y Sinisterra (2006), ha realizado investigaciones por más de 20 años en las relaciones planta - suelo - agua, donde la estructura de la planta aporta a la estabilidad del suelo gracias a la resistencia mecánica a través de sus raíces que controla la erosión, regula los elementos del clima (temperatura, humedad relativa, vientos y aguas), que afectan el suelo desprotegido por falta de follaje.

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (C.V.C.) y el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), con participación de diversos actores de la comunidad y las ONG's de diferentes municipios, llevaron a cabo programas de socialización, sensibilización, concientización y capacitación sobre la aplicación de la bioingeniería como la solución más conveniente a los problemas de erosión; muestra de ello fue el logro obtenido por la ONG eco ambientes del municipio de Argelia Valle, al

familiarizar a sus comunidades con el uso de la bioingeniería como un conjunto de técnicas que aportan ventajas ecológicas y estructurales a la hora de manejar las contingencias ingenieriles en sus terrenos.

Teniendo en cuenta lo anterior, es primordial que el conocimiento sobre las bondades de la bioingeniería sea difundido, que los ingenieros la tomen en serio y su aplicación se haga cada vez más frecuente en el territorio colombiano, dando así un importante paso en la optimización de los recursos disponibles a la hora de manejar una contingencia ingenieril, minimizando los impactos a las comunidades, la flora y la fauna.

5.3. Técnicas de bioingeniería aplicadas en la estabilización de laderas

5.3.1. Trinchos en guadua

De acuerdo con lo expuesto por Hernández (2018), los trinchos en guadua son una técnica empírica utilizada como sistema de contención de suelos en zonas rurales de Colombia, donde los taludes son de alta pendiente y pueden llegar a ser inestables. Este sistema es una alternativa de bioingeniería para la estabilización de taludes y está constituido por la construcción en forma escalonada de muros con guadua angustifolia, que conforman una serie de terrazas para tratamientos de recuperación de la cobertura vegetal.

El comportamiento estructural del trincho (deflexiones, deformaciones, resistencia, etc.) estará determinado por el comportamiento de sus pilotes, al ser este quien actúa como cimentación de la estructura de contención como se puede observar en la Figura 1. Los trinchos soportan la masa de suelo a través de una pared compuesta por guaduas organizadas

horizontalmente, que a su vez, son soportadas por pilotes en guadua embebidos en el suelo para resistir la presión lateral transmitida.



Figura 1. Trinchos en guadua.

Fuente: Propia (2019)

Autores como Rivera H, Suarez y Potes (2006), concuerdan en recomendar usar estas estructuras en pendientes mayores a 45° y menores a 50° , con profundidades de 1.80 y sobresaliendo al nivel del terreno máximo 50 cm, para que estas estructuras cumplan su función de disipar la energía de las aguas de escorrentía. Estas estructuras han brindado excelentes resultados cuando se han implementado en diferentes sitios de Colombia, en obras como; la estabilización del parque los alcázares en Manizales, páramo de sumapaz, municipios de Caldas, la cuenca alta del río cali, entre otros municipios del Valle y Antioquia que por su agreste topografía han presentado inconvenientes en épocas lluviosas, especialmente en aquellas zonas intervenidas por el ser humano para su expansión urbana.

5.3.2. Gaviones en saco suelo semillado

De acuerdo con Mataix (2014), para revegetar los muros construidos con gaviones, se colocan capas de ramas de matorral entre los sucesivos gaviones que componen el muro. Opcionalmente, pueden introducirse algunas ramas dentro de los propios gaviones buscando que sus raíces desarrollen ramas que se introducen entre el relleno de los gaviones y alcanzan el talud arraigando en él y consolidando así la estructura esperada, haciéndola más resistente y con una apariencia más natural.

Los gaviones están compuestos por canastas rectangulares de alambre galvanizado, las cuales se rellenan con piedra, formando unidades independientes que conforman diferentes estructuras para protección o contención, estos a su vez conforman muros de contención, trinchos en cañadas y descoles de canales, entre otros.



Figura 2. Gaviones en saco suelo semillado

Fuente: Propia (2019)

De esta manera, los muros de gaviones son contruidos en lugares donde se hace necesario proteger la banca de las vías o el derecho de vía, para prevenir deslizamientos que pongan en peligro la estabilidad de la obra o para contener materiales sobrantes, se clasifican según las dimensiones de la canasta empleada y su colocación dentro de la estructura, de la siguiente manera:

- a. Gaviones de base (2.00m x 1.00m x 0.50m).
- b. Gaviones de cuerpo (2.00m x 1.00m x 1.00m).
- c. Colchonetas (4.00m x 2.00m x 0.15 a 0.30 m).

Recomendaciones: La canasta debe fabricarse con malla tipo "ciclón" o "eslabonada" de triple torsión, con abertura máxima de 7.5cm de lado.

El alambre para la malla debe ser de calibre 13 (diámetro = 3.404 mm) y cumplir como mínimo los siguientes requisitos:

Calidad: Acero dulce, galvanizado en caliente (al zincpuro) exento de defectos (norma ASTM A90).

Tracción: Carga mínima a la rotura: 42 kg/mm².

Alargamiento: Bajo la carga de 42 kg/mm², el alargamiento de un fragmento de 10 cm debe ser de 8 a 12mm.

Enrollamiento: El alambre debe dejarse enrollar en espirales cerradas y paralelas sobre un cilindro de diámetro igual al doble del suyo, sin que el zinc muestre señales de deterioro o resquebrajamiento.

Torsión: Tiras de alambre de 20 cm de longitud deben soportar sin romperse y sin que se produzcan daños al zinc, 30 vueltas completas de torsión, permaneciendo el eje del alambre recto.

Espesor de zinc (galvanizado): El alambre debe soportar sin perder su capa protectora de zinc, ni siquiera parcialmente, cuatro inmersiones sucesivas de un minuto cada una, en una solución de sulfato de cobre cristalizado con concentración de una parte de cristales por cinco de agua y temperatura de la solución de 15°C. Entre las inmersiones los alambres se lavan, se limpian y se examinan.

Elasticidad de la malla: Una sección rectangular de la malla de 2.0 m por 1.0 m, debe resistir, sin romperse, una carga de 1.95 kg/cm², se corta una sección de 2.0 m por 1.0 m, se sujetan los bordes a un marco y se tensiona hasta causar una elongación del 10%, luego se somete a una carga de 1.95 kg/cm², aplicada en el centro de la malla con un martillo con los bordes redondeados para evitar el corte de los alambres.

Alambre de unión y tirantes: El alambre utilizado para unir entre sí las caras de un mismo gavión y las aristas de un gavión con las del vecino, (tirantes y templetes) debe ser de calibre 12 (diámetro = 2.769 mm) como mínimo, generalmente se utiliza alambre un número inmediatamente superior al empleado en la tela metálica.

Relleno: El relleno de las canastas debe conformarse por fragmentos de roca o cantos rodados, sanos, resistentes y durables. Por consiguiente, el contratista no puede utilizar material descompuesto, fracturado o agrietado. No se aceptan fragmentos de lutita, arcillolita o "pizarra". La dimensión de cada fragmento de roca o canto rodado debe estar comprendida entre 10 y 30 cm. En casos donde no se disponga de fragmentos de roca, pueden utilizarse sacos de

polipropileno rellenos de suelo cemento en proporción 3:1, los cuales se deben disponer dentro de la malla en reemplazo de los fragmentos de roca.

5.3.3. Canales en suelo cemento

Según Corral (2008), la alternativa del suelo-cemento como un material de revestimiento, presenta propiedades similares a las del hormigón con la ventaja de tener un costo menor, lo cual nos brinda una alternativa atractiva debido a las buenas propiedades del material en cuanto a su baja permeabilidad, la posible utilización del suelo o terreno natural existente en la zona como materia prima entre otras.

En este sentido, se puede indicar que el suelo-cemento presenta una menor resistencia a la erosión que el hormigón, por lo que las velocidades de circulación del agua deberán ser menores y en consecuencia, para un caudal determinado será preciso ejecutar secciones mayores. Igualmente las pérdidas registradas en el sistema revestido con suelo-cemento serían mayores que en el sistema revestido con hormigón, ya que la impermeabilidad del suelo cemento es elevada pero no alcanza los valores del hormigón.

Para mejorar dicha impermeabilidad será preciso emplear un suelo apropiado para la mezcla sin permeabilidad importante. De esta misma manera, el espesor del revestimiento de suelo-cemento será de 20 cm (0,20 m) en el canal provincial y los ramales principales del sistema de riego y de 15 cm (0,15m) en las acequias o red secundaria. Es por ello que la mezcla llevará de 3% a un 5% de cemento sobre el peso del material granular en seco.

El revestimiento del canal con suelo-cemento es factible tanto técnica como logísticamente, puesto que la maquinaria necesaria para la ejecución del revestimiento es muy similar a la empleada para el revestimiento de hormigón, con la salvedad de la extensión y la mezcla del suelo con el cemento, que requieren maquinaria más especializada, aunque se puede realizar con maquinaria de obra pública convencional, obteniendo un material de calidad inferior debido al menor control que se tiene sobre las propiedades de la mezcla del suelo-cemento resultante.

El costo económico del revestimiento con suelo-cemento será inferior al costo de la ejecución del revestimiento con hormigón. El costo del suelo cemento depende principalmente del % de cemento que se emplee en su fabricación.

Como sucede con todas las alternativas propuestas, existen varias posibilidades (subalternativas) para el revestimiento de los canales del sistema que mencionaremos a continuación:

- a. Revestimiento con suelo-cemento del canal provincial y de los ramales principales del sistema de riego (red primaria).
- b. Revestimiento con suelo-cemento de los ramales principales del sistema de riego (red primaria).
- c. Revestimiento con suelo-cemento tanto de la red primaria como de la red secundaria del sistema, así como del canal provincial como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3. Canales en suelo cemento.

Fuente: Propia (2019)

5.3.4. Estacas

Según Suárez (1992), citado por León (2001), “Se trata de líneas de estacas con diferente tamaño, las más comunes son de diámetro aproximado de 6-15 cm y longitud de 0,7-1,5 m a una distancia de 0,3-0,5 m entre ellas y entretejidas con ramas. Cómo se puede observar en la figura 4, estos enramados tienen una altura entre 0,3 y 0,6 m y se deben profundizar mínimo 0,25 m en el suelo, el objetivo es que todas las estacas enraícen por esto deben ser tratadas con precaución y colocar algún tipo de enraizante”



Figura 4. Estacas.

Fuente: Manual de Bioingeniería (2013)

Tabla 1. Funcionalidad de las Estacas

Función	Inserción y establecimiento de plantas con un alto grado de enraizamiento en la superficie del terreno para control y erosión por incremento de rigurosidad y cobertura y estabilización de capas delgadas de suelo
Papel de la vegetación	1. Cobertura 2. Rigurosidad 3. Fijación del suelo a través de las raíces
Eficacia y aplicaciones	Es una técnica para condiciones en el sitio relativamente no muy complicadas donde el tiempo y los recursos económicos son limitados. Para la instalación se debe tener en cuenta el siguiente procedimiento:
Instrucción para la construcción	1. Apisonar las estacas vivas en el suelo perpendicular al talud. Se puede iniciar la instalación en cualquier punto del talud. 2. Se debe colocar las estacas en tresbolillo con una distancia de 0,5 a 1 m entre estacas. La densidad de la instalación puede ser entre 2 a 6 estacas por metro cuadrado. 3. Se debe orientar las yemas hacia arriba. 4. Se debe enterrar un 80% de la estaca en el suelo, compactando el mismo alrededor de la estaca después.

Fuente: Castro (2005)

Es una técnica barata y de fácil ejecución que se utiliza principalmente para reparar pequeños deslizamientos y asentamientos originados por un exceso de humedad. Es la inserción y establecimiento de plantas con alto grado de enraizamiento en la superficie del terreno para control de erosión y estabilización de capas delgadas de suelo.

Pueden ser usadas solas para reparar inestabilidades pequeñas de tierras húmedas estables. También son colocadas en filas a lo largo del talud para controlar movimientos superficiales de masa, iniciando en la parte superior hacia abajo con separaciones promedio de 0.3m a 0.45m. el ordenamiento de la instalación de las estacas dependen del objetivo requerido en la ladera, bien sea disminución de velocidades de flujo de superficie, aumentando la rigurosidad en la superficie, retención de sedimentos o control de erosión por protección de impacto.

5.3.5. Entretejido de taludes

Para Castillo Giraldo (2017), la diferencia con el anterior tipo de cubrimiento es el arreglo espacial y la baja exposición de las estacas. Según Gray y Leiser (1995) citado por León (2001), se trata de la disposición de manojos de especies leñosas de fácil enraizamiento en zanjas o corte de poca profundidad, con distancia entre filas de 1 a 6 m, estos se fijan al sustrato usando estacas en dirección hacia el pendiente justo luego de la zanja, así como por otras que atraviesan los manojos de ramas, por último, se cubren con tierra, de tal forma que únicamente quede expuesto cerca de 10% del material como se puede observar en la figura 5.



Figura 5. Entretejidos de taludes.

Fuente: Manual de Bioingeniería (2013)

Es por eso que las investigaciones de Gray y Leiser (1982) “sobre el refuerzo de las raíces como el mecanismo más obvio de influencia de la vegetación en la estabilización de vertientes donde la disposición de raíces laterales tiende a unir el suelo en una masa única.” incrementando la resistencia al deslizamiento.

Tabla 2. Técnicas y prácticas de bioingeniería en taludes

Elementos de relieve	Técnicas o prácticas	Efecto	Valor agregado
Taludes	Coberturas vegetales combinadas o no con materiales inertes.	Protección del suelo en superficie con algún reforzamiento en profundidad.	Contribución paisajística, ecológica, económica y social.

Fuente: Seminario de bioingeniería (2015).

De esta manera, la vegetación puede aumentar la resistencia del suelo al agrietamiento, proteger de la erosión sobre una superficie de suelo expuesta y atrapar las partículas de suelo que se deslizan por el talud, debe ser seleccionada para las condiciones particulares del lugar, se recomienda usar flora nativa del lugar y que siembre con suficiente densidad para proporcionar una eficaz protección a la superficie del talud, por medio de la vegetación se disminuyen el contenido del agua y brindando consistencia al suelo debido a el entramado mecánico de las raíces, las cuales pueden alcanzar una profundidad hasta de 0,50 m.

5.3.6. Cubrimiento con fibras

Suarez (1980) habla sobre el empleo de “fibras naturales o artificiales para el recubrimiento de superficies expuestas de los taludes, en donde participan diferentes materiales de origen natural, como la fibra de coco o cabuya, igualmente materiales sintéticos que contienen polivinilos o derivados plásticos”. Para Morgan (1986) “Estas mallas no son suficientes para el manejo de la erosión, por lo cual deben combinarse con algún tipo de mantillo o cobertura ya que es ampliamente identificada su ineficiencia”. Como sugiere lo anterior, las técnicas de bioingeniería, en muchos casos deben ser utilizadas de manera conjunta con otras técnicas de ingeniería convencional para mayor efectividad.

De esta manera se logra que las cualidades o bondades de las técnicas se acoplen y den solución a problemáticas ingenieriles más complejas. En el caso del recubrimiento con fibras

naturales, estas conforman un entramado fértil, que a su vez aporta estructura a los taludes, pero se debe combinar con un recubrimiento de vegetación que genere raíces y cumpla la función de frenar de manera eficiente la erosión.



Figura 6. Trabajos de cubrimiento con fibra de coco.

Fuente: Ramírez. (2014)

Esta técnica permite al suelo regenerar sus estructuras. Las fibras más utilizadas en estas estabilizaciones, como afirma Castillo en (2017) “son textiles fabricados a partir de fibras orgánicas de alta resistencia” y en ese orden de ideas, la estabilización del terreno se da a partir de la estructura que aportan dichas fibras y la posibilidad de consolidación a futuro, como se puede observar en las figuras 6y7.



Figura 7.Trabajos de cubrimiento con fibra de coco.

Fuente: Ramírez (2014).

5.3.7. Hidrosiembra

La hidrosiembra es una de las técnicas que se puede llegar a implementar para la revegetalización de taludes. Álvarez (2014), describe la hidrosiembra “como un método para establecer masivamente especies herbáceas y consistente en la aplicación (pulverización) de una mezcla de agua, semillas, fertilizantes, abono y un agente adhesivo para la fijación al talud, ofreciendo una alternativa rápida y económica, especialmente para proyectos a gran escala en pendientes pronunciadas.”.



Figura 8. Trabajos de hidrosiembra.

Fuente: <https://civilgeeks.com/2011/10/04/>



Figura 9. Trabajos de hidrosiembra Antioquia-Liborina.

Fuente: Ramírez (2001).

Este método de bioingeniería y siembra fue tomado en cuenta como técnica objeto de investigación en un trabajo llevado a cabo por Medina en 1990. En la mencionada investigación se “implementaron tratamientos con geotextiles (geomalla de poliéster, materiales biológicos como yute y el manto de fibra de coco y sintéticas) para medir su eficacia en la prevención de erosión en taludes.

Castillo (2017), encuentra que: “experimentos utilizando hidrosiembra para restablecer vegetación fueron implementados por Boche García, Fayos, Alborch y Tormo (2007), con especies locales y comerciales, como método para reducir la tasa de erosión y es ampliamente usado como se evidencia en las figuras 8y9.

5.3.8. Cajuelas

Para Suarez en (2001), esta técnica se basa en la incorporación de material vegetal de porte herbáceo, a lo largo y ancho del talud, en un arreglo al cuadro o tresbolillo preferiblemente, se hacen pequeñas excavaciones en forma de cajón y en el interior después de realizar las labores de

encalado y fertilización se coloca semilla de pasto (Yaraguá peludo: *Melinis minutiflora*), con un pequeño recubrimiento de tierra.

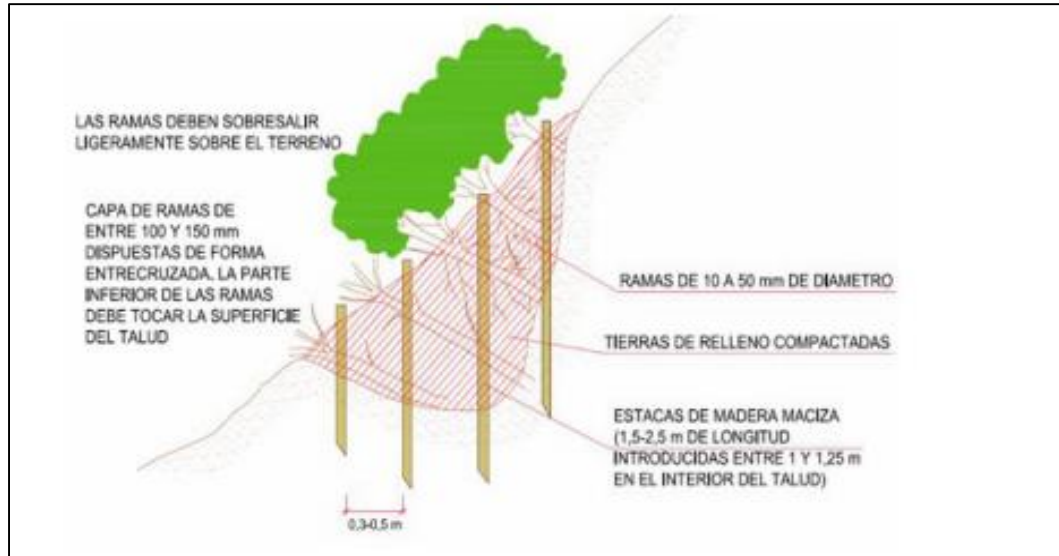


Figura 10. Detalle de cajones de ramas.

Fuente: Adaptado del Manual de estabilización y revegetación de taludes. 2002.

Esta técnica es utilizada aún en estabilización de taludes, pero resulta muy demorada para resolver los problemas erosivos a los que se enfrenta la topografía colombiana, es por eso que actualmente se vienen ofreciendo técnicas de bioingeniería más rápidas como cubrimiento de taludes con mantos FLEXTERRA HP FGM y el CON WED FIBER pues son más livianos y de germinación rápida ofreciendo cubrimiento al talud mientras se revegetaliza con semillas de rápido crecimiento como se observa en la Figura 10.

5.3.9. Céspedes

Suarez en (2011), citado por Castillo Giraldo en (2017), asevera que la técnica de céspedes, consiste en la instalación de porciones o cortes de césped (pasto) en cuadros, “generalmente se utilizan de 0,3 m de ancho por 2 a 3 m de longitud, siendo fijadas mediante estacas o ganchos de alambre, pero el costo de estos cortes, más la mano de obra, es sumamente alto.”



Figura 11. Céspedes.

Fuente: Propia (2019).

Otra técnica usada y que conlleva a resultados relativamente similares es llamada “coctel de semillas” consistente en el empleo de “costales de fique rellenos de tierra abonada y una mezcla de semillas”, de forma que quede “tapando las terrazas”, pero su efectividad fue puesta a prueba y fueron frecuentes las experiencias en las que “los costales se rajan y se sale el material no consolidado, además las semillas de pasto no tienen como germinar ya que no tienen las condiciones de luz necesarias.”

5.3.10. Fajinas vivas

Otra de las técnicas de bioingeniería que se ha podido confirmar en Colombia, es la de las fajinas vivas, su uso más frecuente es el de primer tratamiento de los terrenos que necesitan estabilización. Se debe en muchos casos emplear de manera conjunta con otras técnicas de bioingeniería.



Figura 12. Estacas Vivas.

Fuente: Propia, (2019).

Como la siembra de pasto y las mallas orgánicas, estas pueden utilizarse para reparar pequeños deslizamientos o para facilitar el relleno de cárcavas. Las estacas comúnmente se colocan en filas sobre el talud, utilizando alineamientos a las líneas de nivel, también pueden organizarse en filas diagonales o en áreas triangulares. En ocasiones se colocan las estacas muy cerca las unas de las otras formando grupos para atrapar sedimentos y en esta forma controlar la erosión, como se evidencia en la figura 12.



Figura 13. Estructura de la planta.

Fuente: Restauración de hábitats de alta montaña (2014).

Analizando las características técnicas especiales de algunas especies vegetales se pueden resaltar las siguientes:

- Capacidad de emitir raíces adventicias y de multiplicarse vegetativamente
- Resistencia mecánica de las raíces Resistencia a la tracción y al arrancamiento.
- Flexibilidad y resistencia de las partes aéreas.
- Capacidad de infiltración: mejora de las características hidráulicas del terreno.
- Potencial de evapotranspiración (Restauración de hábitats de alta montaña, 2014).

Tabla 3. Funcionalidad de Fajinas vivas

Función	Inserción y establecimiento de ramas en las superficie del terreno para el control de erosión. Usados para disipar energía y retención de sedimentos. Estabilización
---------	--

	de suelos superficiales
Papel de la vegetación	1. Cobertura 2. Rigurosidad. 3. Retención del suelo a través de tallos y hojas. 4. Refuerzo de capas superficiales de suelo.
Eficacia y aplicaciones	1. Efectivo en el refuerzo de suelo y estabilidad de masa en sitios con rellenos menores. 2. Produce una barrera de filtro, reduciendo problemas de socavación y erosión. 3. Repara hoyos en terraplenes térreos a excepción de diques donde la retención de agua es una función. 4. Proveer el refuerzo inmediato del suelo.
Instrucciones para la construcción	Las fajinas son manojos de ramas y tallos atados en forma de huso que se colocan en el fondo de zanjas poco profundas, excavadas transversalmente siguiendo el contorno del talud, y que se recubren parcialmente de tierra.
Ventajas	Con el crecimiento de las plantas, el sistema de recortes llega a ser cada vez más efectivo contra la escorrentía y reduce la erosión superficial. El sedimento atrapado llenara los asentamientos, mientras las raíces se esparcen a lo largo del relleno y en el suelo natural para formar una masa unificada.

Fuente: Castro (2005)

Las filas de fajinas crean una barrera sobre el talud que impide el arrastre de material, a causa de agentes erosivos. A pesar que el uso principal de las fajinas es minimizar la erosión en laderas, otras aplicaciones adicionales son el mejoramiento del hábitat para las plantas acuáticas y animales, mejoras de tipo paisajista y estética de la zona intervenida con el desarrollo de

vegetación. Sin embargo, la limitación principal en el método consiste en que solo son apropiadas en pendientes que no presentan movimiento superficial de masa. Adicionalmente, debido a que el refuerzo de las fajinas no penetra en principio a la profundidad requerida, su efecto no es inmediato.

5.3.11. Terraceos o Taludes en Escalera

Los taludes se definen como áreas que presentan mucha vulnerabilidad “a la erosión hídrica y sobre todo a inesperados movimientos en masa. Para su control, los taludes usualmente han sido protegidos mediante estructuras civiles y tratamientos con vegetación Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* = su nombre científico), tomado de internet (Ingenieriareal.com). Además, se hacen “tratamientos integrales de estabilización que combinan métodos de control de aguas superficiales, remodelado de terreno e incorporación de material vegetal.” León Peláez, (2006).

En la opinión de Suárez (1980), Antes de pensar en un sistema de contención se debe tener en cuenta que la perfilación y los trabajos de elaboración de zanjas para tener la salida de agua de escorrentía con canales de coronación ya debe haber sido planificado y ejecutado, además si se cuenta con una pendiente muy inclinada y una superficie cortante de bastante recorrido se deben hacer taludes en escalera. Para que este sistema sea eficiente debe tener cunetas en la parte superior, en el medio y en la parte inferior. Adicionalmente, el talud debe estar diseñado con niveles de terraza y en las paredes contar con estacas como elemento vertical y caña brava o guadua como elemento horizontal, después los terraplenes se cubren con suelo orgánico, sobre el cual se disponen estolones o semillas de pastos, como se aprecia en las figuras 13 y 14.



Figura 14. Terraceo o taludes en escalera.
Fuente: Castillo (2014).



Figura 15. Terraceo.
Fuente: Propia (2019).

6. Estado del arte

Para la conformación de este estado del arte con respecto a la bioingeniería en el país, se consultaron diversas bases de datos las cuales han aportado valiosa información en lo que respecta a la utilización de las estructuras bioingenieriles en diferentes proyectos en zonas de Colombia con características variadas. Es de señalar que se puede encontrar una cantidad significativa de material que aborda la temática por parte de estudiosos y profesionales de las academias de ingeniería con trayectoria. Al hacer la selección del material que se tendría en cuenta para la conformación del documento final, se han seguido criterios de idoneidad y afinidad de las técnicas abordadas en los trabajos con el principio fundamental de la bioingeniería de convertirse en una alternativa biosustentable que resuelva los problemas desde sus causas.

Al hablar de bioingeniería, se está hablando de las diferentes bioestructuras que comprenden las técnicas Bioingenieriles, de las que ya se ha hablado, estas técnicas son a menudo utilizadas en la estabilización de taludes con movimientos de masa severos, manejo de aguas de escorrentía, etc. Lo que se quiere lograr con esta investigación es dar cuenta de la idoneidad de diferentes técnicas de bioingeniería a la hora de subsanar problemáticas de los terrenos que son habituales en la geografía nacional.

También puede ser tomada como un llamado a la acción a todos los ingenieros civiles a involucrarse cada día más en estas técnicas, pues complementadas con las obras civiles permiten minimizar el impacto ambiental que genera la sola utilización del cemento en las diferentes obras en el país.

Las investigaciones de Hernández y Suescún (2016), han revelado que, obras como la estabilización de taludes de laderas cerca de los ríos, cortes en taludes en ampliaciones de las vías, entre otras; llevan a concluir que la bioingeniería ofrece grandes ventajas en la implementación de dichas obras como lo es “la utilización de la mano de obra no calificada del sitio”, reducción de costos, regeneración y estabilización de las áreas afectadas con materiales locales que contribuyen no solo a la estabilización del terreno sino también a la conservación de la flora y la fauna.

Suarez (2001), expone a manera de manual, una serie de técnicas y aclaraciones sobre el control de la erosión en ambientes tropicales, este manual pretende llenar el vacío cultural que existe, incluso por parte de los mismos ingenieros, hacia la bioingeniería y en general el empleo de las plantas para tratar problemáticas ingenieriles, empleándose un lenguaje técnico de la vegetación desde el punto de vista de un ingeniero con intereses en la estabilización de los terrenos mediante el tejido vegetal.

Olmos y Montenegro (2004), dieron a conocer una investigación realizada bajo el auspicio del Instituto Agustín Codazzi en el año 2001, en la que se reveló que: el 40% de nuestro territorio presenta erosión de muy ligera a muy severa y la zona andina es la más afectada con un 88% de erosión hídrica, aumentada por las prácticas culturales inadecuadas y la presencia de pendientes inclinadas. La pérdida de suelo aumenta por la presión demográfica, falta de conocimiento sobre la metodología para evaluar la erosión potencial, falta de orientación a los agricultores y dificultades para la toma de decisiones acertadas. Suarez (2001), resalta la importancia y el avance de estas técnicas, pues en todo el proceso de investigación se logró ver la transformación de los taludes y la mitigación de los problemas erosivos intervenidos.

Autores como Suarez y Galán, citados por Castillo (2017), muestran las posibles ventajas y las potenciales desventajas de la utilización de esta técnica, donde algunos resultados de la investigación, nos llevan a deducir que la utilización de cespedones, mitiga en parte la caída directa de la lluvia sobre la zona, pero presenta inconveniente por no contar con raíces profundas, lo que dificulta un control estable en los problemas de erosión, razón por la cual se ha empezado a utilizar otras especies como el pasto vetiver, pues este puede desarrollar raíces con mayor longitud de profundidad, permitiendo un magnifico anclaje, y con alturas de crecimiento hasta de 2 metros, ayudando a evitar que la lluvia golpee directamente el talud, permitiendo estabilidad en el mismo y disminuyendo la erosión por el golpe hídrico directo.

Rivera y Sinisterra (2006) aseguran que la estabilización con obras de bioingeniería es inmediata, ya que se intervienen las causas y no los efectos y la vegetación sólo entra a ser un componente biológico complementario en la restauración definitiva del área degradada a través del tiempo.

En este sentido, cobra importancia la articulación de diversas instituciones que coinciden en la sostenibilidad y biodiversidad de estas zonas de ladera, de la competitividad de los agricultores, y todos los demás actores en busca de frenar el proceso de degradación acelerada e irreversible. No se puede lograr ser sostenible ni competitivo con suelos agotados para la agricultura, donde ya se ha perdido la materia prima principal (materia orgánica) y solo aflora el material parental que dio su origen; tampoco se puede hablar de regulación y almacenamiento de agua en lugares donde ya ha desaparecido el horizonte orgánico o aflora la roca madre, imposibilitando la biodiversidad, donde ya se ha perdido el suelo y a la vez el agua.

6.1. Construcción de Base de Datos

Se implementó una metodología de observación cualitativa, utilizando dos (2) técnicas: observación y lecturas previas de todo el material bibliográfico investigado, como artículos y tesis encontradas en revistas científicas presentes en bases de datos y repositorios de las universidades del país como Scopus, Redalyc, Scielo, Cenicafé, Unal, Ucaldas, etc., se eligieron artículos, documentos, sitios de internet y tesis.

Del total del material estudiado, se seleccionaron una serie de estudios que se consideraron relevantes por su afinidad con el tema y por sus experiencias documentadas, los cuales permitieron una mejor asimilación del conocimiento sobre el estado del arte de la bioingeniería en la mitigación de los procesos erosivos en las laderas.

En este sentido, estas revisiones en internet se complementaron con visitas a las diferentes bibliotecas de la ciudad como: la Universidad Nacional de Manizales (Facultad de Ingeniería Civil), la Biblioteca de la Universidad Católica de Manizales (Facultad de Ingeniería Ambiental) y la Universidad de Caldas (Centro de Investigación e Innovación), donde se pudo hallar información importante que sirve como instrumento para una base de datos que permite un análisis profundo del tema y un documento final sobre el estado actual del conocimiento de la bioingeniería en Colombia.

Por tanto, se tomaron treinta y un (31) referencias bibliográficas, divididas en diez (10) tesis, dos (2) artículos de revistas, cuatro (4) avances técnicos tomados de las bibliotecas de Cenicafé en Chinchiná Caldas y trece (13) documentos, como se relaciona en la Tabla 1.

Tabla 4. Documentos y tesis analizadas

Año	Autor	Titulo	Tipo de investigación
2016	Miranda Ricardo	Revisión panorámica del uso del pasto Vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) en restauración de taludes como técnica de bioingeniería del suelo.	Tesis de grado
2013	Bedoya Ancizar	Evaluación diagnóstica integral y sistémica de la cuenca hidrográfica de la quebrada El Perro, del municipio de Manizales (Caldas – Colombia)	Tesis de Maestría
2016	Aponte Juan Carlos	Comportamiento y eficiencia de terrazas y pantallas construidas en guadua frente al control de erosión de suelos mediante modelamiento computacional	Tesis de grado
2018	Angarita Mónica y Reyes Maicol	Diseño e implementación de obras de bioingeniería en la vereda Las Lajas de Supatá-Cundinamarca como una alternativa para el manejo de aguas de escorrentía y recuperación de suelos degradados	Tesis de grado
2016	Gallego Camilo	Trincho en guadua, y su optimización con enfoque bioingenieril para el control de la erodabilidad hídrica en el Ecoparque los Alcázares	Tesis de grado
2014	Flórez Gloria	Efectividad de la bioingeniería para el tratamiento de la erosión y los movimientos en masa en laderas	Tesis de maestría
2018	Hernández Wilmar	Recuperación de taludes a través de obras de bioingeniería, sobre la metodología basada en el material de guadua caso de estudio: zona andina-paramo de Sumapaz	Trabajo de grado especialización
2016	Hernández Luisa, Bibiana Edid	Manual de obras de bioingeniería en zonas de ladera con procesos de remoción de masas para altitudes superiores a 3000 M.S.N.M. El caso de la localidad de Sumapaz, Bogotá D.C.	Tesis ingeniería
2017	Castillo Ángela	Sistemas tecnológicos alternativos para la protección vegetal en taludes	Tesis magister
2015	Romero Diego, Galviz Wilson	Viabilidad de la implementación de fajinas para la estabilización de taludes en Colombia	Tesis de grado
2011	Díaz Claudia	Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización	Artículo encontrado en Scielo
2012	Manual (SICTA)	Obras de conservación de suelos y agua en laderas	Documento informe
1975	Gómez Álvaro	Sistema I.U.M. para determinación del uso y manejo de los suelos de ladera	Avance técnico
2009	Ramírez Fernando, Hincapié Edgar	Riesgo a la erosión en la zona cafetera central del departamento de Caldas	Avance técnico
2001	Rivera José	Manejo y estabilización de taludes en zonas de ladera mediante tratamientos de bioingeniería	Avance técnico
2011	Rivera Patricia	Sistema de drenaje con filtros vivos para la estabilización y restauración de movimientos masales en zonas de ladera	Documento
2001	Suárez Jaime	Control de erosión en zonas tropicales	Documento
2011	Sinisterra Armando	Dimensión social y económica de la restauración ecológica	Estudio de caso

Fuente: Propia (2019).

6.2. Análisis de la información

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en las diferentes investigaciones que conforman la base de datos mostrada en la Tabla 1, realizando un consolidado de las principales observaciones asociadas con cada técnica de bioingeniería.

6.2.1. Técnica de trinchos

Con respecto a la *técnica de los Trinchos*, Rivera (2001), en su investigación señala que los trinchos vivos en zonas de ladera, no se pueden asimilar a muros de contención, ni a obras acumuladoras de sedimentos, ya que su objetivo es el de obrar como simples disipadores de energía de las aguas de escorrentía y estabilizadores del terreno a medida que crece la vegetación que los conforma.

Asimismo, Hernández y Edid (2016), señalan que la información descrita está diseñada para guiar de manera práctica la construcción de obras de bioingeniería y hacer que el manejo y la reducción del riesgo sean de mayor alcance. El propósito es presentar las características generales de cada elemento y/o sistema de construcción, teniendo en cuenta que son obras únicamente de mitigación y estabilización, por ende, se desea que mediante la aplicación de estas obras se colabore con la reducción a los problemas de amenazas naturales, teniendo en cuenta las tareas de mantenimiento de las mismas, con el fin de conservar su correcto funcionamiento.

Otra recomendación es detectar las posibles infiltraciones de agua en la ladera del talud para realizar en ella la aplicación de trinchos, en los cuales también se puede colocar vegetación y contribuyen con la protección de los filtros. Según Angarita y Reyes(2018), señalan la importancia de la técnica IAP (investigación, acción y participación) que se relaciona a continuación:

- a. En la fase de investigación se realiza el diagnóstico ambiental de la zona de estudio y la compilación de la información encontrada.
- b. En la fase de acción se ejecuta la visita a campo, el levantamiento topográfico realizado por GPS (para los diseños), los tipos de obras o modelos de bioingeniería a edificar, el

presupuesto (mano de obra y materiales) que se desarrollará para llevar a cabo la construcción de la obra.

c. En la tercera fase de participación, el objetivo es involucrar a la comunidad en el proyecto, donde se realizó la revegetación con especies de plantas nativas y finalmente se realizaron visitas para dar seguimiento al proyecto. Dentro de los resultados se obtuvo que los movimientos en masa se presentan por el mal drenaje de agua presente en los suelos, por lo tanto se procede a construir canales secundarios en espina de pescado que finalmente desembocan a los canales principales de evacuación, se construyeron cinco (5) filtros principales con el fin de dar estabilidad a estos, se realizaron trece (13) trinchos, las zanjas fueron cubiertas en guadua, seguido a esto se edificaron cinco (5) terrazas y finalmente se sembraron semillas para la revegetalización, el área total del proyecto fue de 1345.10 m². Se concluye que con el solo hecho de acometer oportunamente los agentes causales de los efectos, los resultados en la estabilización de los procesos degradativos por erosión y remociones de masa son inmediatos.

Señala Flórez (2014), que los desprendimientos de suelo, reptación, hundimientos, avalanchas, son clasificaciones de algunos movimientos por remoción en masa; sin embargo, cada uno tiene una naturaleza distinta, causas diversas y variedad de detonantes, para este último se destaca los materiales con baja cohesión o poco consolidados, los procesos topográficos, zonas con pendientes muy pronunciadas donde se supera el ángulo de reposo de un material, los procesos climáticos, cuando existen precipitaciones frecuentes o un régimen de lluvias elevado y los procesos antrópicos que se refieren a la acción del hombre sobre el medio ambiente.

Una solución viable, son los trinchos en guadua que son barreras transversales construidas en un cauce con el propósito principal de impedir el arrastre de materiales y ayudar a disipar las

aguas en causas secundarios, igualmente las guaduas a utilizar en los trinchos deben ser material sano, sin rajaduras o ataques de insectos o de hongos e impregnadas con asfalto, el diámetro de las guaduas oscilara entre 15 y 25 cm para guaduas horizontales y verticales de cada trincho, teniéndose en cuenta que las guaduas horizontales conserven el mismo diámetro para cada trincho. Los extremos de las guaduas en los trinchos serán cortados en los nudos conservándose la cubierta protectora de los mismos evitando colocar guaduas con extremos huecos.

Los autores Hernández y Edid (2016), Angarita y Reyes (2018) y Flórez (2014), coinciden en afirmar que se debe tener en cuenta la aplicación de trinchos cuando la ladera presente algún tipo de infiltración de agua, elementos estos que contribuyen con la con la protección de los filtros para conducción de aguas de escorrentía en zonas tropicales, evitando desprendimientos de suelo, reptación, hundimientos, avalanchas, lo cual son clasificaciones de algunos movimientos por remoción en masa.

6.2.2. Técnica de gaviones en saco suelo semillado

De acuerdo con la *técnica de gaviones en saco suelo semillado* Mataix (2014), señala que para revegetar los muros construidos con gaviones, se colocan capas de ramas de matorral entre los sucesivos gaviones que componen el muro, es por ello que opcionalmente, pueden introducirse algunas ramas dentro de los propios gaviones. Las raíces que desarrollan las ramas se introducen entre el relleno de los gaviones y alcanzan el talud arraigando en él y consolidando así la estructura.

Asimismo, la vegetación refuerza la estructura del muro de gaviones y la hace más resistente, al tiempo que le da una apariencia más natural y adecuada que mejora la

apariciencia estética de la obra. De esta manera, Mataix (2014), refiere que los muros de gaviones se construyen donde sea necesario proteger la banca de las vías o el derecho de vía, para prevenir deslizamientos que pongan en peligro la estabilidad de la obra o para contener materiales sobrantes.

6.2.3. Técnica canales en suelo cemento

Para la *técnica canales en suelo cemento* Corral (2008), señala que la alternativa del suelo-cemento como un material de revestimiento que presenta similares propiedades a las del hormigón tiene un coste menor y que no precisa árido grueso, se trata de una alternativa atractiva debido a las buenas propiedades del material en cuanto a su baja permeabilidad, aunque sea mayor que la del hormigón, y a la perspectiva de la posible utilización del suelo o terreno natural existente en la zona como materia prima del suelo-cemento.

De esta manera el autor indica que el suelo-cemento presenta una menor resistencia a la erosión que el hormigón, igualmente las pérdidas registradas en el sistema revestido con suelo-cemento serían mayores que en el sistema revestido con hormigón, ya que la impermeabilidad del suelo cemento es elevada pero no alcanza los valores del hormigón. El coste del suelo cemento depende principalmente del % de cemento que se emplee en su fabricación.

Como sucede con todas las Alternativas propuestas, existen varias posibilidades (subalternativas) para el revestimiento de los canales del sistema: Revestimiento con suelo-cemento del canal Provincial y de los ramales principales del sistema de riego (red primaria). Revestimiento con suelo-cemento de los ramales principales del sistema de riego (red

primaria). Revestimiento con suelo-cemento tanto de la red primaria como de la red secundaria del sistema así como del canal Provincial

6.2.4. Técnica de Estacas

En relación a la *técnica de estacas*, Romero y Gastriz (2015), señalan que para implementar el método de revegetación con ayuda de las fajinas, enramados o estacas se deben tener en cuenta una serie de factores que dependen principalmente del espacio geográfico y en donde se piensa ejecutar, ya que como todo problema de ingeniería se le debe buscar la solución más viable generando diferentes hipótesis, la revegetación depende del suelo, aspectos climatológicos y si se quiere implementar este método sin conocer estos factores habría la posibilidad de caer en un error que llevaría a generar más problemas de estabilidad en los taludes, ya que se generan cargas verticales al talud acelerando así el proceso de fallas que tienen, por otro lado el mantenimiento que se debe tener con estos métodos de revegetación es más intensivo que los métodos convencionales utilizados, es decir se debe asegurar que el proceso de enraizamiento de las plantas sea óptimo.

En este mismo orden de ideas, Castillo (2017), referencia que las fajinas, enramados o estacas son líneas de estacas con diferente tamaño, las más comunes son de diámetro aproximado de 6-15 cm y longitud de 0,7-1,5 m a una distancia de 0,3-0,5 m entre ellas y entretejidas con ramas, estos enramados tienen una altura entre 0,3 y 0,6 m, y se deben profundizar mínimo 0,25 m en el suelo, el objetivo es que todas las estacas enraícen por esto deben ser tratadas con precaución y colocar algún tipo de enraizante, además de la siembra de estacas vivas y la construcción de fajinas que ayudan a la recuperación de los taludes de las riveras de ríos con base en especies vegetales herbáceas que ayudarán a mejorar la sucesión natural.

Los autores mencionados precedentemente tienen coincidencia en sus postulados ya que mencionan las fajas, enramados o estacas como una protección que se debe tomar en cuenta para la construcción y el manejo de taludes usando de manera adecuada las alternativas de cubrimiento y sistemas de revegetalización.

6.2.5. Técnica de entretejido de taludes

En cuanto a los *entretejidos de taludes*, Castillo (2017), indica que la diferencia con el anterior tipo de cubrimiento es el arreglo espacial y la baja exposición de las estacas. Se trata de la disposición o manojos de especies leñosas de fácil enraizamiento en zanjas o corte de poca profundidad, con distancia entre filas de 1 a 6 m, estos se fijan al sustrato usando estacas en dirección hacia la pendiente justo luego de la zanja, así como por otras que atraviesan los manojos de ramas, por último se cubren con tierra, de tal forma que únicamente quede expuesto cerca de 10% del material.

Se busca determinar si una propuesta de montaje de pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para control de taludes resulta ser adecuada al hacer una revisión de casos prácticos en el mundo y en Colombia donde se comparan técnicas de ingeniería convencional y bioingeniería del suelo para restauración de taludes erosionados.

Según Hernández (2018), para la utilización de entretejido de taludes, se debe realizar un reconocimiento de la zona, a través de una exploración de campo, con el fin de extraer muestras y tener una clasificación del material predominante y con ello definir la profundidad de hincado de estas pantallas; buscando implementar soluciones amigables con el ambiente, que brinden una solución oportuna y eficiente como por ejemplo: obras de bioingeniería soportadas bajo el

material de guadua, ya que este material aporta una solución de creciente interés por sus beneficios ambientales y económicos.

Igualmente, Miranda (2016), señala que la idea principal es establecer comparativamente las ventajas y desventajas del uso de pasto vetiver como técnica de bioingeniería del suelo para control de taludes con relación a las técnicas de ingeniería civil tradicionales aplicadas para los mismos fines, también estos taludes poseen características importantes como: la fortaleza, la longitud y la unión en manojo de la raíz, que resisten la presión de las partículas del suelo aumentando su cohesión y estabilizando los taludes para comportarse de manera similar y en algunos casos mejor que estructuras de concreto y de hierro como son las puntillas de tierra (Soilnails), ya que las raíces no se corroen y en cambio se fortalecen con el pasar de los años.

Bayona (2013), señala que, en el municipio de Manizales, se vienen presentando problemas graves de erosión y de deslizamientos, donde las lluvias por su gran intensidad, duración y frecuencia, son el agente causal principal de los procesos degradativos, los cuales están favorecidos por pendientes fuertes del terreno superiores a 50%, de longitudes medias (150 a 250 metros) y por el uso y manejo inadecuado de los suelos.

Uno de los sectores más afectados es la cuenca de la quebrada el perro, la cual está localizada al oriente de la ciudad, su ladera Noroccidental se encuentra enmarcada como componente urbano y es descrita en el POT (Plan de Ordenamiento Territorial) de Manizales, como zona de regeneración y mejoramiento, debido a que exhibe procesos erosivos activos, con presencia de algunas obras civiles de estabilización de taludes y control de erosión. Hay una desprotección total de los drenajes naturales, con ausencia de los bosques riparios que podrían influir en el

amarre de los taludes bajos de las laderas, y regular los caudales torrenciales y el arrastre de sedimentos en los periodos lluviosos.

Se hace entonces necesario restablecer esos bosques riparios; lo cual, implica el establecimiento de obras de bioingeniería, especialmente *trinchos escalonados* que permitan transportar los caudales en forma disipada y evitar el socavamiento del fondo del cauce y de los taludes laterales, igualmente, se considera de gran importancia, aislar inicialmente los drenajes naturales, para evitar el ingreso de la ganadería a estos sitios susceptibles y favorecer el crecimiento de la vegetación nativa.

Recomiendan los autores que estos programas deben ser liderados por las autoridades ambientales y municipales con participación de la comunidad en todas las etapas de planificación de la cuenca, se deduce que la prioridad es la educación ambiental como estrategia ideal para la integración del factor humano a los procesos orientados a lograr la estabilidad ambiental de la zona y de sus suelos, de la misma manera es el principal agente detonante de las causas de eventos presentes y futuros que sucedan en el área de influencia de los taludes.

6.2.6. Técnica de cubrimiento con fibras

Con respecto al *cubrimiento con fibras* Castillo (2017), comenta que el uso de mallas de fibras naturales o artificiales para el recubrimiento de superficies expuestas de los taludes, en donde participan diferentes materiales de origen natural como la fibra de coco o cabuya, no son suficiente para el manejo de la erosión, por lo tanto deben combinarse con algún tipo de mantillo o cobertura ya que es ampliamente identificada su ineficiencia.

Más recientemente se vienen aumentando el uso de fibras especialmente en los programas de control de la erosión en los departamentos como Antioquia, donde el empleo de revestimientos de taludes con fibras naturales ayudados con textiles fabricados a partir de fibras orgánicas de alta resistencia, tales como el yute (tejidos abiertos de fibra gruesa de 3 a 6 m de diámetro con aberturas de 10 mm. x 19 mm., con un 65% de área abierta) han mostrado resultados significativos, gracias a la capacidad de este método de resistir la tensión, absorber agua, proteger el terreno y propiciar la germinación de semillas.

Otro elemento normalmente utilizado es la fibra de coco, se caracteriza por su alta resistencia a la tensión (18 a 26 kN/m), con una alta durabilidad entre 5 a 10 años, utilizada como capa protectora, acompañada con la aplicación de lodo fertilizado (capa de 1 cm) compuesto por materia orgánica, arcillas, estolones picados, semillas, fertilizante químico e hidroretenedores, sobre el cual se fija el tejido orgánico mediante ganchos de alambre galvanizado calibre BWG9 o 10.

Según Suarez (2001) los mayores beneficios de los geomantos se dan por el aumento de la capacidad de absorción de agua (hasta de tres veces), su aporte de materia orgánica cuando estas fibras son verdes, la protección de la siembra ante el golpe de lluvia, la protección de la semilla de las aves que se la comen, la manera de aplicarse consiste en un empañetado de talud con mezcla de materia orgánica con agua, con un espesor de 5 a 8 cm y una fibra en la parte superior protegida o fijada con grapas o estacas aprovechando el sistema de enmallado del producto.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, podemos concluir que los autores tienen mucha coincidencia respecto al cubrimiento con fibras que por su capacidad de absorber agua, se usan

para proteger y propiciar la germinación de la semilla o pastos, contribuyendo a la protección de taludes.

Según Castillo (2017), entre los métodos implementados para la revegetalización de taludes se encuentra la hidrosiembra como un método para establecer masivamente especies herbáceas y consiste en la aplicación (pulverización) de una mezcla de agua, semillas, fertilizantes, abono y un agente adhesivo para la fijación al talud, ofreciendo una alternativa rápida y económica, especialmente para proyectos a gran escala en pendientes pronunciadas.

El método de siembra que se utilizó en un trabajo de investigación realizado por Medina (1990), donde implementaron tratamientos con geotextiles (geomalla de poliéster, materiales biológicos como yute, manto de fibra de coco y sintéticas) para medir su eficacia en la prevención de erosión en taludes, generando resultados satisfactorios al obtener la aglomeración física de las partículas del sustrato, evitando la dispersión y reduciendo la erosión.

Dado lo anterior podemos concluir, que los autores coinciden en afirmar, que estas fibras son de gran utilidad como capa protectora, adicionando a ello la aplicación de lodo fertilizado compuesto por materia orgánica, arcillas, estolones picados o semillas, fertilizante químico e hidroretenedores.

De acuerdo con los postulados de Castillo (2017), los céspedones es una técnica que se basa en la incorporación de material vegetal de porte herbáceo a lo largo y ancho del talud, en un arreglo al cuadro o tresbolillo preferiblemente, se hacen pequeñas excavaciones en forma de cajón y en el interior después de realizar las labores de encalado y fertilización se coloca semilla de pasto (Yaraguá peludo: *Melinis minutiflora*), con un pequeño recubrimiento de tierra.

De acuerdo con lo expuesto por Díaz (2011), entre los más importantes problemas ambientales, cambios, alteraciones y amenazas que están afectando a los geosistemas de las regiones áridas, semiáridas, subhúmedas secas, la erosión del suelo y la desertificación constituyen la mayor extensión e incidencia ambiental y económica; adicional a ello, el cambio global puede agudizar la problemática ambiental expuesta, también se debe buscar realizar procesos de recuperación de la cobertura vegetal del suelo e implementar medidas de control y mitigación de la erosión mediante el uso de mecanismos que en lo posible sean lo más natural y no induzcan nuevos impactos ambientales.

De acuerdo con el Raudes y otros (2009), los suelos productivos se están perdiendo o degradando por la erosión y malas prácticas de cultivo, lo que hace necesario notar la importancia y urgencia de lograr ser eficientes en el uso y manejo de nuestros suelos, con prácticas agrícolas sostenibles y amigables con el medio ambiente., es por ello que es necesario resaltar la importancia y urgente necesidad de eficientes el uso de los recursos, en general, los países de Latinoamérica se ven afectados por el problema de escasez de suelos productivos por lo que es necesario evitar que se sigan perdiendo o degradando por la erosión y por el mal manejo que se le da, esto con el propósito final de producir alimentos y materias primas.

Los autores anteriormente citados tienen coincidencia en sus postulados ya que deben realizar procesos de recuperación de la cobertura vegetal del suelo e implementar medidas de control, mitigación de la erosión mediante el uso de mecanismos que en lo posible sean lo más natural posible y no induzcan nuevos impactos ambientales, por ello se deben realizar cajuelas que resulten eficientes para la recuperación del suelo.

Castillo (2017), señala que el establecimiento de pastos a partir de “cespedones” cortes en cuadro de porciones de pasto establecido, generalmente se utilizan de 0,3 m de ancho por 2 a 3 m

de longitud, siendo fijadas mediante estacas o ganchos de alambre, pero el costo de estos cortes más la mano de obra es sumamente alta.

Otra técnica usada es el “coctel de semillas” el cual consiste en el uso de costales de fique rellenos de tierra abonada y una mezcla de semillas, tapando las terrazas, pero no son efectivos por que los costales se rajan y se sale el material no consolidado, además las semillas de pasto no tienen como germinar ya que no tienen las condiciones de luz necesarias.

Según Galán et al., (1995) recomiendan la propagación asexual de plantas a partir de estacas, estolones y rizomas para las especies de gramíneas o leguminosas que tiene un crecimiento mayor en estos métodos que por semilla, además su cubrimiento es mayor que las plantas que crecen por semilla ya que tienen un nivel de exploración mayor pero el problema es la mano de obra para la siembra ya que por semilla el cañón de la hidrosembradora aplica la semilla por estaca, y la siembra del estolón o rizoma debe ser manual.

Los postulados de los autores coinciden en que los cespedones tienen un cubrimiento mayor que las plantas que crecen por semilla ya que tienen un nivel de exploración mayor, por lo tanto los cespedones deben ser implementados para el establecimiento de las coberturas vegetales en labores de control de la erosión, la adaptación de los tratamientos a las condiciones del terreno, la vocación de las soluciones, las recomendaciones sobre el manejo de las coberturas vegetales y el mantenimiento más recomendado de las obras dentro del plan de funcionamiento de las soluciones.

Para Rivera (2011), el sistema de drenaje con filtros vivos para la estabilización y restauración de movimientos masales en zonas de ladera, un sistema de drenaje con estacas vivas toma

importancia desde el mismo momento en que el terreno muestra un problema de mal drenaje, y se hace imprescindible cuando el suelo está totalmente saturado y ha llegado a su imite plástico superior, es decir, a su estado líquido, donde la masa ha perdido completamente la cohesión y estabilidad, quedando sueltas las obras de infraestructura y la misma vegetación, dado que se dificulta hacer cualquier tipo de estructura de estabilización.

Según Sinisterra (2011), las estructuras de estabilización construidas preferiblemente con material vegetal con alta capacidad para rebrotar, formando balcones escalonados para reducir la pendiente que luego son sembrados densamente con cobertura vegetal de distintos estratos: rastrero denso, arbustos y árboles, es decir no son obras de contención. Los autores coinciden en sus postulados ya que las estacas vivas brindan el establecimiento definitivo de una comunidad vigorosa de vegetación de múltiples estratos y el entrecruce de las raíces de la vegetación establecida.

Según Aponte (2016), los taludes son áreas altamente vulnerables a la erosión hídrica y sobre todo a inesperados movimientos en masa, para su control, los taludes usualmente han sido protegidos mediante estructuras civiles y tratamientos con vegetación. En este sentido, la implementación de métodos de bioingeniería actualmente se ha convertido en alternativa de apoyo a problemáticas como la de erosión de suelos, dando posibles soluciones con el fin de no afectar demasiado la naturaleza, el entorno y el ambiente.

Suarez (2001), argumenta que las obras de ingeniería involucran la intervención de laderas y taludes, los cuales requieren de un programa de control de erosión durante la construcción, y de medidas definitivas de control a mediano y largo plazo, asimismo, la producción de sedimentos,

ocasionada por la erosión requiere de obras de control de sedimentos, es decir la erosión es una de las principales fuentes de contaminación del agua, y la construcción de obras de ingeniería es una de las principales fuentes de erosión.

Por ello los autores coinciden que la principal causa de los problemas en los taludes es la presencia del agua de la lluvia, la es correntía y el agua subterránea, por lo tanto el manejo de las aguas es muy importante desde el inicio de la construcción, la protección de la superficie del terreno generalmente se obtiene utilizando la vegetación como obra principal de estabilización y se debe tener especial cuidado en la selección del sistema de establecimiento de la cobertura vegetal y de las especies vegetales a establecer.

6.3. Limitaciones de la aplicación de la bioingeniería

De acuerdo con los postulados de Zilbert y Downs (2013), 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:

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, asimismo 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.

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

En este aspecto con referencia a la localización del talud, los taludes que reciben la exposición directa del sol de la tarde presentan mayores dificultades para la vegetación, que los que reciben el sol de la mañana o poseen condiciones de sombra relativa. Deben analizarse, además, los factores relacionados con la presencia del hombre: Pisoteo, quemas, basuras, humo de los vehículos, etc.

Es por ello que en las limitaciones se debe tomar en cuenta que no existen especies universales y 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 en cuenta la experiencia local, los cambios en el clima, las diferencias de tolerancias y hábitos de las diferentes especies, igualmente en esta selección debe de considerarse también las variaciones y/o cambios de ciclo de lluvias, temperatura, periodo de sequía, cantidad de lluvia, entre otros, 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.

6.4. Condiciones en las que se puede implementar la bioingeniería

La bioingeniería es ideal para la recuperación de los suelos con problemáticas de erosión ocasionada por pérdida de la materia vegetal de los terrenos, o por incidencia de corrientes

hídricas. Con sus investigaciones, el ingeniero Suarez Díaz (2001), concluye sobre la importancia y bondades en la recuperación de los suelos erosionados mediante técnicas bioingenieriles.

Por su parte otros especialistas hacen una recomendación importante y es que se debe entender la incidencia que tienen las erosiones hídricas, pues en obras tratadas aplicando la revegetalización, pero sin dar un manejo a las aguas, los resultados fueron negativos. Es por eso que primero se debe hacer un análisis de la zona, dar manejo a las aguas superficiales, a las aguas subsuperficiales y a continuación se procede a aplicar la técnica de bioingeniería que va a garantizar el saneamiento del talud.

Se pueden encontrar otros artículos sobre la utilización de las fibras. En investigaciones de Díaz (2011), menciona alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización, se tiene qué, para la aplicación de bioingeniería con esta técnica, se han hecho muchos ensayos, pero manifiestan Ingold y Thomson (1986) y la misma Díaz Mendoza (2011), que en el mercado hay muchas opciones de revestimiento con fibras, pero llegaron a la conclusión después de la utilización de fibras naturales como el fique utilizadas en muchas obras de INVÍAS en nuestro país, que esta fibra natural ofrece un control de humedad maravilloso gracias a la capacidad de absorción de agua, fenómeno que no se logra con los materiales de polietileno. Adicionalmente resaltan que el utilizar esta técnica de recubrimiento ha permitido disminuir un gran porcentaje de erosión del suelo a causa de las lluvias.

Suarez (2001), concluye los grandes beneficios que se obtienen al utilizar la técnica de estacas vivas, con especies de reproducción vegetativa rápida como guadua (*Bambusa guadua*),

Guaduilla (*Phylostachis aurea*), Chusque (*Chusquea*ssp.) Mataratón (*Gliricidasepium*), Sauce (*Salix*ssp), Arboloco (*Montanoaquadrangularis*), pues ellas se colocan al final de los drenajes para atrapar sedimentos y así controlar problemas erosivos, también funcionan muy bien en el llenado de cárcavas pequeñas pues las estacas se vuelven plantas con raíces y follaje (Suárez). En los trabajos hechos en los departamentos de Caldas, Tolima y Valle donde se ha aplicado esta técnica han dado excelentes resultados investigados por Escobar Potes, C. E., y las corporaciones autónomas regionales de Caldas, Tolima y Valle.

6.5. Análisis

Basándose en la información investigada y analizada, se puede concluir cuáles son las técnicas de bioingeniería más usadas en el país en las diferentes obras que a diario se encuentran, y se puede afirmar que la bioingeniería se viene convirtiendo en un gran aliado de la ingeniería civil como un efectivo complemento en la estabilización de taludes, cárcavas, además con estas técnicas los costos en dichas obras han disminuido considerablemente.

Pero para realizar las obras de bioingeniería es necesario conocer la topografía del sitio, hacer una estabilización del lugar a intervenir por medio de datos como la identificación de las aguas subterráneas y aguas de escorrentía donde se le darán manejo por medio de filtros vivos, cunetas o zanjas colectoras ubicadas horizontalmente pues así se puede controlar las aguas de escorrentía, todas estas acciones nos permitirán ofrecer grandes soluciones con una gran variedad de técnicas de bioingeniería que complementadas con las obras civiles, disminuyen el impacto ambiental, disminuyen costos, y ofrecen alternativas más inmediatas para enfrentar los problemas que a diario se ven, ocasionadas por las lluvias y deforestación, donde las

comunidades más apartadas del territorio pueden realizar una mitigación del riesgo presente de una manera más inmediata.

En la tabla 2 se presenta las técnicas de bioingeniería más utilizadas como los trinchos vivos, los filtros vivos, cubrimiento de los taludes con geomembranas, céspedones, hidrosiembra entre otros y al mismo tiempo en la figura 16.

Tabla 5. Técnicas de bioingeniería más utilizadas

TECNICAS DE BIOINGENIERIA MAS UTILIZADAS	
Numero de tesis, documentos, revistas analizadas	30
Fajinas	5
Estacas vivas	4
Trinchos	14
Cubrimiento con fibras	3
Céspedones	3
Hidrosiembra	1

Numero de documentos consultados

Fuente: Propia (2019).

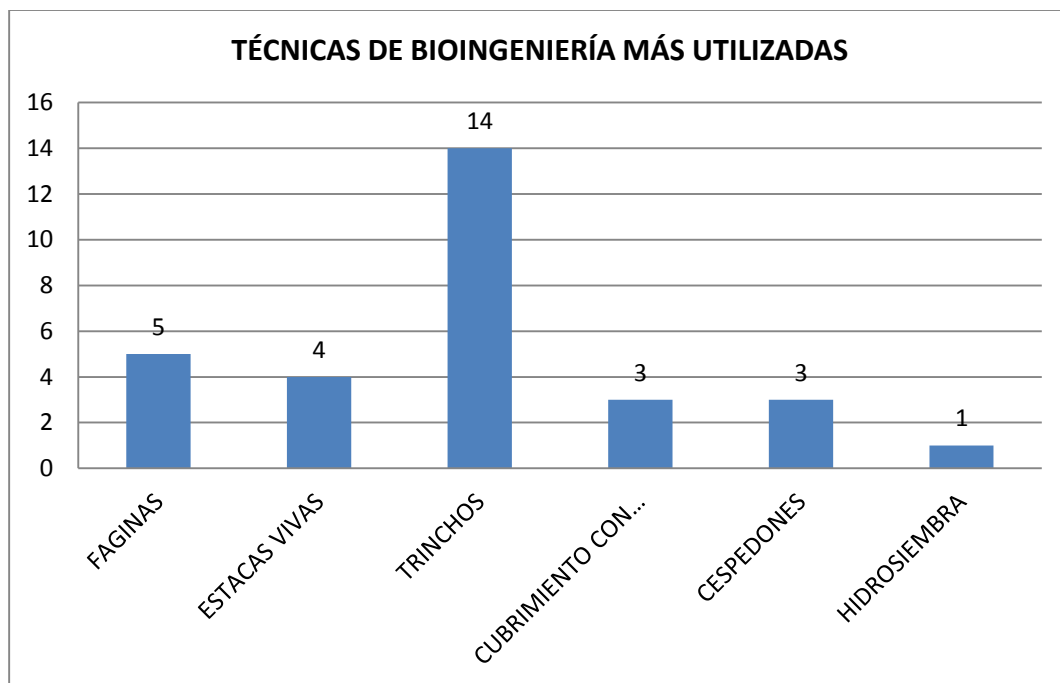


Figura 16. Bioingenierías más utilizadas.

Fuente: Propia (2019).

De acuerdo con la imagen anterior, se puede ver estadísticamente las obras de bioingeniería más y menos utilizadas encontradas y analizadas durante la revisión bibliográfica, y así resaltar la importancia de la bioingeniería que cada día toma más fuerza a la hora de intervenir eventos erosivos en Colombia.

En las principales estabilizaciones de taludes en el país pues ha ofrecido una gran solución a los problemas de movimientos masales en altas pendientes causantes de pérdidas de vía, de infraestructuras y de vidas humanas, continua la técnica de estacas vivas con una gran solución al manejar sedimentos, con un 3% se encuentran dos técnicas como es la utilización de Céspedes y cubrimiento con fibras, los Céspedes ofrece una alternativa rápida de solución pero a largo tiempo no es tan efectiva pues el pasto no ofrece un anclaje fuerte que evite el desprendimiento del terreno, en la utilización del cubrimiento con fibras si ofrece mejor ventajas en la estabilización de taludes en el desarrollo de construcción de vías, por último se tiene la hidrosiembra técnica que se utiliza en la estabilización de algunos taludes pero poco usada por sus costos y tiempo de respuesta.

Finalmente los resultados de investigaciones sobre esta clase de fibra, permiten conocer datos que son de gran importancia en la estabilidad de taludes, pues estos ayudan a aumentar la resistencia en el suelo, el impacto ambiental es bajo por su biodegradabilidad ayudando a que la fibra natural se descomponga y le aporte nutrientes al suelo en un corto tiempo, caso que no ocurre con los geomantos sintéticos.

7. Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

Al concluir sobre el primer objetivo específico denominado caracterizar las técnicas de bioingeniería y señalar las implicaciones de su aplicación en diferentes terrenos y situaciones a partir de experiencias en Colombia, en especial las situaciones en las que se han utilizado técnicas como trinchos en guadua, siembras vivas, gaviones en saco suelo semillado y canales en suelo cemento, entre otros, se puede indicar que con la utilización de bioingeniería se ha permitido mitigar grandes problemas en las zonas urbanas y rurales con materiales de la zona y a unos costos mucho más bajos, pues se utiliza la vegetación a favor de la recuperación normal del suelo afectado, recuperando de nuevo su estructura con su respectiva delimitación de área, esto cuando se habla de estabilización de cárcavas o laderas con problemas severos de erosión, erosión en las vías, se debe tener en cuenta que con las construcciones de obras civiles cambia el suelo y lo deja expuesto, es por eso que se puede concluir que en estos casos es donde la bioingeniería se convierte en el complemento de la ingeniería civil, mitigando los impactos ambientales de las obras civiles pues en estos sitios es indispensable utilizar las coberturas vegetales ya que disminuirá el efecto y la fuerza de la lluvia sobre el talud.

En cuanto al segundo objetivo específico denominado establecer las limitaciones en la aplicación de la bioingeniería como complemento de la ingeniería civil, se puede concluir que teniendo en cuenta la geografía y topografía de nuestro país en ella se encuentran laderas con pendientes muy altas, los cortes en las vías son taludes muy verticales, con climas diversos y factores detonantes como problemas antrópicos ocasionados por la intervención del hombre, la

mala utilización de los recursos naturales, el cambio de la vocación del bosque convertido en potreros, genera grandes procesos erosivos y grandes problemas hidráulicos con las aguas de escorrentía.

Con respecto al último objetivo específico denominado precisar el impacto que han tenido estos proyectos en el país en alturas sobre el nivel del mar entre 1000m.s.n.m y 3000m.s.n.m, se puede concluir que por estas razones , se enfrentan distintos problemas en la estabilización de laderas, es decir cada caso y terreno es distinto y cada obra es diferente, por tal motivo una obra construida en Manizales, no puede utilizar la misma alternativa de bioingeniería que en el Chocó; cada problema en los taludes tiene una solución particular definida por el tipo de terreno, tipo de obra, limitaciones de la especie, costo de la obra y tiempo de ejecución; es por ello, que se debe seleccionar la mejor técnica y la mejor especie vegetal para evitar un efecto negativo en la obra.

Las diversas investigaciones citadas en el artículo nos contextualizan la importancia de la aplicabilidad de bioingeniería en las obras ingenieriles, como es la estabilidad de taludes con fibra vegetales de coco, sisal y yute. Estas fibras en una primera instancia disminuyen procesos erosivos que son muy comunes en los suelos residuales; teniendo un indudable valor paisajístico y ecológico a un bajo costo.

La implementación de manta de fibras vegetales complementada con la hidrosiembra forma un método favorable para la estabilización de taludes con pendientes altas en suelos áridos y erosionados donde se dificulta el manejo de revegetación convencional, esta técnica retiene la humedad lo cual favorece la germinación de las semillas permitiendo una revegetación más rápida y efectiva.

La desaparición de la vegetación es una de las principales causas de erosión de los suelos, lo cual es fundamental tratar del inicio de una obra de ingeniería aplicando técnicas que sean favorables con el medio ambiente, la utilización de revegetación en taludes protege el suelo del impacto de las gotas de lluvia, reduce el agua de escorrentía, controla la infiltración del agua, mejora la cohesión del suelo gracias a las raíces.

Es primordial en el momento del manejo de revegetación de talud tener en cuenta su pendiente, tipo de suelo, localización geográfica para escoger una vegetación variada y adecuada al suelo a tratar, es necesario realizar un mantenimiento constante hasta que esta vegetación sea autosuficiente. Puesto que esta juega un papel importante para el control de la erosión y deslizamiento de los taludes.

7.2. Recomendaciones

Es importante entender, como ingenieros civiles, que la bioingeniería es una gran alternativa a la hora de enfrentar los diferentes problemas erosivos que a diario vemos en nuestro país; pues por medio de la bioingeniería, podemos evaluar y tener planes eficaces a la hora de brindar una solución efectiva en cada obra a realizar.

Cada día son más las instituciones que investigan nuevas alternativas basadas en la bioingeniería como complemento de las obras civiles, que nos ayudarán a realizar grandes obras amigables con la naturaleza, se debe aprovechar toda esta información para sacarle el mejor provecho a estas técnicas.

A la hora de realizar obras de bioingeniería es importante tener en cuenta factores o características de la zona a intervenir, como los estudios geotécnicos del tipo de suelo, tipo de

clima, vegetación, todo esto con el fin de permitir hacer un buen diagnóstico y así utilizar la técnica más apropiada para esa zona y lo más importante contar con las comunidades de la zona, pues ellas nos suministrarán información clave del sitio.

8. Referencias Bibliográficas

- Aponte, J. (2016). Comportamiento y eficiencia de terrazas y pantallas construidas en guadua frente al control de erosión de suelos mediante modelamiento computacional.
- Barrantes, V. (sf). Subdirección de Análisis de Riesgos y Efectos del Cambio Climático. Lineamientos para el desarrollo de estructuras con técnicas de bioingeniería como alternativa para la mitigación de riesgos.
- Bedoya, A. (2013). La tecnología de bioingeniería y el control natural de erosión en Colombia.
- Castillo, Á. (2017). Sistemas tecnológicos alternativos para protección vegetal en taludes.
- Castro J. (2005). Estudio Preliminar de Aplicación de Biosólidos en Suelos para el Control de Erosión y Estabilidad de Taludes. Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Díaz, C. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización convencionales y revegetalización. INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN VOL. 31 No. 3, DECEMBER 2011 (80-90).
- Díaz, W. (s.f.) Influencia de la vegetación en la estabilidad de taludes en climas tropicales ingeniero civil universidad Santo Tomas. Maestría en construcción de obras viales. Universidad Santo Tomas. Ingeniero civil.
- Escobar C. (1998). “Especies vegetales” Manual para el control de la erosión. Corpocaldas-Invías p 153-164.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Federacafé). (1982). Cuarenta años de investigación de Cenicafe. Suelos Vol. 1. Chinchiná (Colombia), Cenicafe. 74p.
- Flórez, G. (2014). Efectividad de la bioingeniería para el tratamiento de la erosión y los movimientos en masa en laderas. Tesis de Maestría: Universidad de Manizales.
- Gallego, C. (2014) Trincho en guadua, y su optimización con enfoque bioingenieril para el control de la erodabilidad hídrica en el ecoparque los Alcázares.
- Gómez, A. (1979). Clasificación del uso potencial de tierras de ladera. Sistema IUM. Chinchiná (Colombia), Cenicafe. 1979. 9 p.
- Hernández I., Perdomo D. y Rincón J., (2015). Implementación de fibras naturales. Universidad La Gran Colombia, Colombia.

- Hernández, L.Suescún, E. (2016). Manual de obras de bioingeniería en zonas de ladera con procesos de remoción de masas para altitudes superiores a 3000 M.S.N.M. El caso de la localidad de Sumapaz, Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería: Programa de Ingeniería Civil Trabajo de grado. Bogotá.
- Hernández, W. (2018). Recuperación de taludes a través de obras de bioingeniería, sobre la metodología basada en el material de guadua. Caso de estudio: zona andina – Paramo de Sumapaz. Trabajo de grado Especialización. Universidad Militar Nueva Granada: Bogotá.
- Mataix C. (2014). Estudios y Proyectos Mineros, S.A. Madrid.
- Miranda, R. (2016). Revisión panorámica del uso del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en restauración de taludes como técnica de bioingeniería del suelo. Tesis Maestría en ciencias ambientales: Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.
- Naranjo, J. y Ríos, P. (1989). Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos. Revista Universidad de Caldas. 10 (1-3). p.113. Manizales.
- Olmos, E. y Montenegro, H. (1987). Inventario de los problemas de la erosión y degradación de los suelos de Colombia. In: Congreso Colombiano de la ciencia del suelo, 4 y Coloquio la degradación de los suelos en Colombia, 9. Neiva (Colombia), 18-21 de agosto de 1987. Resúmenes. Neiva, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1987, p.23.
- Parra T., Melo Y. (2015). Estabilización de taludes de la vía de red terciaria de la vereda la unión, localidad de Usme – Bogotá D.C. Universidad Católica De Colombia. Facultad De Ingeniería Programa De Ingeniería Civil.
- Rivera, H. (1990). Determinación de los Índices de Erosividad Erodabilidad y Erosión Potencial en la Zona Cafetera Central Colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). Palmira (Colombia). Universidad Nacional de Colombia. (Tesis Máster Science).
- Rivera, H. (2016). Principios de la Bioingeniería [en línea]. Bogotá: Tripod [citado 27 enero, 2016]. Disponible en Internet: <http://ecoambientes.tripod.com/principios.html>
- Rivera, J. (2001). Manejo y estabilización de taludes en zonas de ladera mediante tratamientos de bioingeniería. Avances Técnicos Cenicafé (Colombia) No. 291:1-8. 2001.
- Rivera, J. (2002). Construcción de Trinchos Vivos para la Conducción de Aguas de escorrentía en Zonas Tropicales de Ladera. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 2002. 8 p. (Avances Técnicos CENICAFE N° 296).
- Rivera, J. (2006). La Bioingeniería en el Control de Erosión y Movimientos Masales en Zonas de Ladera Tropicales. IN: Agenda Ciudadana del Medio Ambiente Caldas. Publicación de la Agenda Ciudadana del Medio Ambiente Manizales - Caldas. Contraloría General de la

República Gerencia Departamental de Caldas Centro de Participación y Control Ciudadano.
Manizales Caldas Colombia P 17 – 27.

Rivera, J. (2009). Uso, Manejo y Conservación Integral del Suelo para un Desarrollo Sostenible. Universidad de Manizales. Centro de Investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo “CIMAD”. 124 p.

Rivera, J. (2011). Sistemas de drenaje con filtros vivos para la estabilización y restauración de movimientos masales en zonas de ladera. Avances Técnicos Cenicafé. No. 413. Colombia. 12 p.

Rivera, J. Sinisterra, R y Calle, D.(sf). Restauración Ecológica de suelos degradados por Erosión en Cárcavas en el enclave xerofítico de Dagua, Valle del Cauca, Colombia., Área de restauración ecológica de CIPAV. Centro para la investigación en sistemas sostenibles para la producción agropecuaria: Cali. (s/f). Disponible en <http://www.cipav.org.co/noticias/noticias-n01.html>.

Rivera. J. y Sinisterra, J. (2006). Uso social de la Bioingeniería para el control de la erosión severa. CIPAV: Cali. P. 110.

Royo, J. (1987). El territorio de Manizales y la estabilidad de sus suelos. Boletín de Vías Universidad Nacional (Manizales) XIV (62): 73 – 100.

Sánchez, J. (2010). Erosión: La importancia de la conservación del suelo. Disponible en: <http://www.aeac-sv.org/pdfs/infoerosion.pdf>.

Soto, Jaime (s.f.). Muro en gavión a gravedad – para protección de la rivera del rio magdalena en el corregimiento de puerto Bogotá municipio de guaduas Cundinamarca.

Suarez, J. (2014). Drenajes superficiales. La bioingeniería en el control de erosión en ambientes tropicales. Brasil. Tomado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019670/p.htm>.

Suarez, J. (2014). La bioingeniería en el control de erosión en ambientes tropicales. Brasil. Tomado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/019670/Paginas/62.htm>

Suárez, J., (1998). Deslizamiento y estabilidad de Taludes en zonas tropicales., Instituto de Investigación sobre erosión y deslizamientos.

Suarez, J., (2001). Control de erosión en zonas tropicales. Corporación para la defensa del medio ambiente. Bucaramanga.

Torres, C. (2016). Sistemas de protección y contención de taludes. Consultado en: <https://es.scribd.com/document/319710604/Sistemas-de-Proteccion-y-Contencion-de-Taludes>.