

DISEÑO DE ALTERNATIVA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUD, EMPLEANDO
BIOINGENIERÍA PARA LA VÍA QUE CONDUCE A LA ESCUELA RURAL DE LA
VEREDA PÉRDIDA ALTA DEL MUNICIPIO DE CIMITARRA SANTANDER

LAURA DANIELA PARDO AYALA

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

INGENIERIA AMBIENTAL

FACATATIVÁ

2019

DEDICATORIA

A Dios principalmente por permitirme llegar a este momento tan anhelado en mi vida, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa.

De igual forma a mis padres que han velado por mi bienestar y educación siempre, siendo mí apoyo en todo momento. Mi madre por su amor, comprensión incondicional y apoyo, mi padre por su trabajo y sacrificio en todos estos años; Gracias por depositar su entera confianza en mí sin dudarlo ni un solo momento, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

A mis compañeros gracias a su apoyo y conocimientos, hicieron de esta experiencia una de las mejores.

Laura Daniela Pardo Ayala

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por todas sus bendiciones, hacer un reconocimiento especial a mis padres que con su dedicación y esfuerzo me ayudaron a culminar mi carrera profesional además me brindaron el apoyo suficiente para no decaer ante cada dificultad que por cierto fueron bastantes.

A mi compañero Steven por apoyarme durante todo este proceso y compartir conmigo alegrías y tristezas.

Al ingeniero Diego Fernando Bedoya Rios director del proyecto por su asesoría y colaboración.

Por último agradecer a todas las personas que directa o indirectamente me ayudaron y apoyaron.

Laura Daniela Pardo Ayala

RESUMEN EJECUTIVO

El municipio de Cimitarra Santander tiene por naturaleza procesos de erosión y a su vez desestabilización de taludes, por ende el objetivo es diseñar una obra de bioingeniería para la estabilización de un talud en la vía que conduce a la escuela rural de la vereda Pérdida Alta, como una alternativa para la recuperación de suelos degradados y a su vez el manejo de aguas de escorrentía a un menor costo, comparado con obras civiles de contención convencionales, además de pretender ser más amigables con el medio ambiente. Para cumplir con el objetivo se plantea una metodología sistemática y consecutiva de 3 fases, donde se inicia con un diagnóstico, analizando las condiciones actuales del deslizamiento, determinando las posibles causas de la desestabilización, plantear el diseño de bioingeniería a usar, además de presentar un plan de apoyo a las técnicas establecidas previamente.

INTRODUCCIÓN

Los movimientos en masa ocurren principalmente en respuesta a fuerzas gravitacionales, ayudadas algunas veces por actividad sísmica. La manera como un talud cede ante estas fuerzas está controlada por una multitud de factores, entre los cuales los más importantes son la geología, la hidrología, la hidráulica, el relieve, el clima y la meteorización. (Geymen y Baz, 2008).

A través del tiempo la cobertura vegetal ha jugado un papel importante en los diferentes tipos de movimientos en masa ya que esta influye en las propiedades hidrológicas y mecánicas del suelo, (Imazumi et al., 2008) mejorando la cohesión, fortaleciendo la matriz del suelo y aumentando su potencial mátrico a través de la evapotranspiración y la intercepción generando así mayor estabilidad a los taludes. (Gómez y Kauzogh, 2005). Por su parte Dai y Lee (2002) aseguran que los deslizamientos ocurren con mayor frecuencia en campos deforestados o cultivados y sobre tierra con pastos bajos.

Existen numerosos métodos tradicionales para dar manejo y evitar dichos movimientos, empleando materiales como concreto y acero brindando una solución habitual; pero hoy en día deben tenerse en cuenta más aspectos que no solo brinden la solución estrictamente necesaria, sino por el contrario generar respuestas donde se plantee un servicio adecuado, con calidad, que se adecue a las necesidades y presupuestos del proyecto y también que sea amigable con el medio ambiente siempre que se pueda.



Según Hugo Schiechtl, La bioingeniería “es una disciplina constructiva que persigue objetivos técnicos, ecológicos, estéticos y económicos, utilizando sobre todo materiales vivos como semillas, plantas, partes de plantas y comunidades vegetales. Estos objetivos se consiguen aprovechando los múltiples rendimientos de las plantas y utilizando técnicas constructivas de bajo impacto ambiental”. (Oliveros y Hernández., 2011).

Esta se utiliza en todos los ámbitos de obras civiles, principalmente en el tema de consolidación de taludes, riberas y también para controlar la erosión. En ocasiones se considera la bioingeniería como una sustitución a la ingeniería clásica, aunque también debe entenderse como un elemento necesario y además complementario de las obras de ingeniería convencional. (Valenzuela, 2016).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las fuertes precipitaciones presentadas durante los últimos dos meses y medio en la vereda Pérdida Media, sumado a la poca presencia arbustiva, ocasionan movimientos o deslizamientos en el suelo lo que genera como consecuencia el taponamiento parcial de la vía que da acceso a la escuela Pérdida Media poniendo en peligro y afectando principalmente a 32 estudiantes así como a 4 familias campesinas de la vereda, que ven interrumpido el paso de sus animales bovinos afectando su economía.

Las personas afectadas, se reunieron y redactaron un oficio dando a conocer la problemática con la que se han venido enfrentando, dirigido a la oficina de Obras Públicas e Infraestructura de la Alcaldía Municipal, donde la función de esta es generar medidas apropiadas para brindar soluciones pertinentes.

Cabe resaltar que remover el material que está dispuesto sobre la vía es una solución parcial al problema ya que puede ocasionar deslizamientos de mayor masa, por ende, se debe plantear una alternativa que brinde soluciones a largo plazo.

JUSTIFICACIÓN

Se pretende diseñar una infraestructura que estabilice los taludes ubicados a la orilla de la carretera como respuesta a la necesidad de los estudiantes de la escuela Rural Pérdida Media y los demás pobladores de la vereda que se ven afectados por el taponamiento parcial de la vía. Para realizar dicha estabilización existen diversos métodos y tipos de obras, donde la intención es determinar el método más acertado y conveniente para dar solución al problema.

Cuando se piensa generar una alternativa para estabilizar un talud, debido al constante movimiento de suelo, como primera solución que se plantea implementar un muro de contención compuesto por material de concreto, pueda que este material posea características muy buenas, pero si se tiene como ejemplo una obra convencional (tipo muro ciclópeo o gavión) se puede ver que presentan costos altos y no es la mejor alternativa para la geografía del lugar, esto debido a que si se presentan nuevos deslizamientos de las partes altas, las masas ejercerían presión sobre el gavión y este podría colapsar, además, si el gavión no tiene una altura adecuada las masas incluso pueden pasar por encima de él.

Por otra parte, si se hace uso de estructuras en concreto, se está saturando a nivel de paisaje, a nivel visual y económico generando un gran impacto a la sociedad. Por ende, se ha visto la necesidad de incentivar a proponer soluciones y alternativas que de cierta manera sean amigables con el medio ambiente, donde estas sean capaces de aportar un plus y a su vez mitigar el problema desde su causa. (Bonilla y Alonso., 2018).

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, sumado con la ocurrencia de deslizamientos en la zona, se propone implementar la bioingeniería, mejorando las condiciones del suelo, los cuales se han venido degradando debido a procesos denudativos, ya sea por acción netamente del agua que origina el arrastre de partículas ocasionando erosión o también por acción de la fuerza de gravedad junto con el agua originando remoción en masa. (Alcaldía de Cimitarra, 2019).

En algunos procesos de bioingeniería ya implementados, se han mostrado las ventajas que trae consigo su utilización principalmente por lograr la estabilización de algunos procesos de degradación ya avanzados con obras sencillas acordes con el medio ambiente a un costo bajo de 2 al 15% con relación a las obras ingenieriles convencionales de concreto. Estos tratamientos dados, con el tiempo se van convirtiendo en obras vivas no perecederas y acordes con el entorno natural evitando así impactos negativos. (Rivera., 2006).

OBJETIVOS

Objetivo general. Diseñar una alternativa para la estabilización de talud, empleando bioingeniería para la vía que conduce a la escuela rural de la vereda Pérdida Alta del municipio de Cimitarra Santander.

Objetivos específicos.

- Analizar las condiciones actuales y posibles causas del deslizamiento.
- Definir apropiadamente las técnicas de bioingeniería más adecuadas teniendo en cuenta criterios técnicos y económicos.
- Establecer medidas que apoyen las técnicas establecidas anteriormente.

MARCO REFERENCIAL

7.1 Marco Teórico:

El municipio de Cimitarra departamento de Santander se encuentra ubicado en la región Andina donde su precipitación media es de 2766 mm llegando a causar mayores riesgos en amenazas de inundaciones y deslizamientos.

A través del tiempo se le ha venido dando manejo a estos problemas con tratamientos monodisciplinarios dejando de lado que el manejo de esta problemática debe ser integral, sistémica y multidisciplinaria teniendo en cuenta las relaciones roca, suelo, topografía, clima, flora, fauna, infraestructura y el hombre por supuesto. (Flórez., 2014).

Los procesos denudativos, están relacionados con la pérdida o degradación del terreno, que generan deslizamientos, fenómenos de erosión hídrica, caídas de roca, áreas mal drenadas, flujos de tierra, de rocas y flujos de menor tamaño. Tanto por acción netamente del agua, como por la acción de la fuerza de la gravedad, en conjunto con el agua.

REMOCIÓN EN MASA

La remoción en masa es el desplazamiento que se da en una masa de terreno, causada por algún exceso en la filtración del agua además de la acción que ejerce la gravedad en un terreno ya

saturado. Esa actividad en masa se puede dividir según su mecanismo de falla o de movimiento en sí, que pueden ser, desplomes, algunas caídas, deslizamientos, flujos etc.

Por lo general este fenómeno de remoción en masa se da debido a:

- Lluvias continuas y concentradas.
- Largos periodos húmedos.
- Materiales con diferentes velocidades de infiltración, superando la posibilidad de percolación por drenaje interno.
- Saturación del suelo superficial. (Alcaldía de Medellín., 2015).

En los procesos de remoción en masa, el movimiento del terreno es gravitacional, pendiente abajo y en terrenos tropicales como los de Colombia, generalmente se presentan con la intervención del agua en movimiento. Ambos procesos (erosión y remoción en masa), pueden presentarse en un terreno, individual y/o conjuntamente, para generar los procesos denudativos de inestabilidad de terrenos montañosos y laderas. (Rivera., 2002).

EROSIÓN DEL SUELO

Rivera (2006) asegura que la erosión del suelo es una forma de degradación física severa y trata acerca de la pérdida de la capa superficial del terreno por el arranque y posterior transporte de

partículas, debido al impacto de la lluvia y las aguas de escorrentía y/o por efecto del viento. Estos procesos de erosión pueden darse gracias a:

- Eventos de lluvia de gran intensidad o en general por la acción del agua en zonas de ladera.
- Alta separabilidad de las partículas del suelo superficial.
- Reducción en la infiltración por la degradación de la estructura del suelo.
- Mínima cobertura de vegetación y/o residuos vegetales.

Además, bajo estas condiciones establecidas o generadas por prácticas inadecuadas de manejo de suelos y cultivos, las partículas del suelo superficial son separadas por el impacto de las gotas de lluvia o por el agua de escorrentía, y son transportadas pendiente abajo en suspensión, en el agua no infiltrada que escurre más o menos uniformemente distribuida sobre la superficie del suelo o concentrada en surcos y cárcavas de diferentes dimensiones.

PROCESO DE BIOINGENIERÍA

La bioingeniería aplicada al suelo es una tecnología, que hace referencia a la prevención y el control de problemas tales como la erosión, protección, estabilización y restauración de laderas, taludes con problemas de movimientos en masa, sumándole procesos físicos químicos y biológicos de los fenómenos degradativos hasta poder encontrar la relación causa-efecto.

Todo esto se resuelve en la construcción de estructuras totalmente vivas, utilizando varias partes de las plantas, como sus raíces y tallos. Estas obras se convierten en un refuerzo mecánico, drenajes hidráulicos y barreras vivas para dar prevención y control a la erosión y los movimientos en masa.

MÉTODOS HABITUALES DE ESTABILIZACIÓN

Para poder dar solución a la inestabilidad de taludes, estas tienen una metodología de diseño y revisión precisa, dichos métodos podrían ser:

- ❖ **Pedraplén:** Consiste en la extensión y posterior compactación de materiales pétreos que provienen de excavación de roca, estas por supuesto deben ser resistentes a la erosión.
- ❖ **Muro gavión:** Este está conformado por cajas en forma de prisma rectangular, las cuales van rellenas con rocas y luego recubiertas con malla para luego ubicarlas de manera superpuesta formando el muro de contención. Estas son resistentes a la erosión, el volteo y el deslizamiento también puede funcionar como presa filtrante.
- ❖ **Muro criba:** Es una serie de celdas pueden ser de concreto, acero o madera rellenas de algún material granular de preferencia compactado, esto funciona como un muro de gravedad.
- ❖ **Muro mecánicamente estabilizado:** Son suelos estabilizados, reforzados a su vez con una geomalla de alta densidad, lo que ocurre es que esta masa de suelo lo suficientemente pesadas tanto como para que soporte empujes laterales del suelo contenido.

- ❖ Muro de gravedad: Son unos muros diseñados para que contrarresten el empuje que ejerce el suelo, pueden contener sistemas de drenaje (opcional). Puede ser construido en materiales como concreto, mampostería, gaviones e incluso prefabricados.

- ❖ Muro en cantiléver: Este muro se construye en forma de T, donde este trabaja como una viga en voladizo, tiene la opción de agregarle contrafuertes.

- ❖ Contrafuerte: Son muros de concreto reforzados muy similar a la estructura del muro cantiléver.

- ❖ Muro anclado: Se les pone una capa de concreto en la superficie del muro, que quede en contacto con el suelo añadiendo cables de acero que funcionan como anclaje, igualmente pueden realizarse con o sin drenaje. (Quezada., 2015).

OTROS MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN

Por otra parte, se pueden tener en cuenta los métodos no tan usados para dar estabilidad a los taludes donde se puedan brindar soluciones con alternativas diferentes, dichos métodos pueden ser:

- ❖ Remoción de los materiales de la cabeza del talud: Es un método muy efectivo en la estabilización de los deslizamientos rotacionales, pero en movimientos muy grandes, las masas que se van a remover tendrían una gran magnitud lo que desfavorece.

- ❖ Abatimiento de la pendiente: Es una alternativa parcialmente efectiva especialmente en los suelos friccionantes, pero este no es viable económicamente en taludes de gran altura.
- ❖ Terraceo de la superficie: Este procedimiento trae consigo un adiconante ya que además de darle estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para así poder controlar la erosión, pero eso si cada terraza debe ser estable independientemente.
- ❖ Colocación de bermas o contrapeso: Estas contrarrestan el momento de las fuerzas actuantes y además actúan como estructura de contención. Pero como desventaja este método requiere una cimentación con suficiente capacidad de soporte.
- ❖ Rellenos de pie de talud: Es una combinación de una modificación de geometría junto con la introducción de un elemento de contención, si el relleno se efectúa con un material de alta calidad, también puede hacerse uso de su resistencia al corte, haciéndolo penetrar bajo el pie del talud para que intercepte las superficies de deslizamiento más desfavorables.
- ❖ Métodos basados en drenaje: La resistencia al corte del terreno depende de su contenido de agua y de la presión intersticial, si se introducen medidas de drenaje que permitan disminuir la concentración de humedad y las presiones intersticiales existentes, se aumenta significativamente el coeficiente de seguridad. (Cabascango y Maribel., 2010).

7.2 Marco Conceptual:

Talud: Es una masa de tierra que posee una pendiente o cambios en la altura significativos. Los taludes son conformados artificialmente mientras que las laderas son por procesos naturales. Los taludes se pueden clasificar en tres: 1. Terraplenes. 2. Cortes de ladera natural. 3. Muros de contención. Además de esto se pueden presentar combinación de los tipos de taludes y laderas. (Suarez., 1998).

Movimiento en masa: Son el producto de diversos elementos, donde la configuración morfológica y evolución de las laderas juegan un papel importante, este es un movimiento de una masa de roca, escombros o tierra a lo largo de una ladera. Además, estos movimientos son el producto del debilitamiento progresivo de las propiedades mecánicas de los materiales de las vertientes por procesos naturales tales como meteorización, levantamientos tectónicos y actividades humanas que activan movimientos lentos, generalmente imperceptibles (Brunsden., 2002).

Erosión: Es el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes naturales y el hombre, además es el resultado de una serie de procesos geológicos que tienden a eliminar el exceso de energía potencial existente en los materiales de las zonas emergidas o continentales de la tierra. (Alonso y Rafaelli., 2011).

Erosión hídrica: Es el resultado de la energía producida por el agua al precipitarse sobre la tierra y al fluir sobre la superficie de los terrenos. La topografía de las laderas o vertientes son factores primordiales de la erosión hídrica, esta es prácticamente inexistente en zonas llanas. (Alonso y Rafaelli., 2011).

Bioingeniería: Es una disciplina de desarrollo multidisciplinar, donde combina la ciencia, la ingeniería y la práctica clínica. (Hernández., 2009).

Escorrentía: Es una corriente de agua que puede provenir de la lluvia que fluye sobre la superficie cuando ya se ha superado su capacidad de evaporación y de infiltración. (Lasanta et al., 2010).

7.3 Marco Legal:

✓ **Constitución política de Colombia 1991.**

Artículo 80: el estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

✓ **Decreto 2811 de 1974**

Artículo 28: Para la ejecución de obras, el establecimiento de industria o el desarrollo de cualquiera otra actividad que, por sus características, pueda producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje, será necesario el estudio ecológico y ambiental previo, y, además, obtener licencia.

Artículo 185: A las actividades mineras, de construcción, ejecución de obras de ingeniería, excavaciones, u otras similares, precederán estudios ecológicos y se adelantarán según las normas, sobre protección y conservación de suelos.

✓ **Decreto 364 de 2013**

Artículo 129: Lineamientos para la adaptación basada en ecosistemas. Se identificarán e implementarán estrategias para el manejo, conservación y restauración de los ecosistemas asegurando que éstos continúen prestando los servicios que permiten a las personas adaptarse a los impactos del cambio climático. La adaptación basada en los ecosistemas tiene como meta aumentar la resistencia y reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas y las personas ante el cambio climático. Implementación prioritaria de estrategias de bioingeniería, renaturalización urbana, y gobernanza y recuperación de los espacios del agua, para restablecer servicios ecosistémicos y ambientales que aumenten la resiliencia de la ciudad.

✓ **Ley 388 de 1997**

Artículo 1

Objetivo 2: El establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes.

Objetivo 3: Garantizar que la utilización del suelo por parte de sus propietarios se ajuste a la función social de la propiedad y permita hacer efectivos los derechos constitucionales a la vivienda y a los servicios públicos domiciliarios, y velar por la creación y la defensa del espacio público, así como por la protección del medio ambiente y la prevención de desastres.

RECURSOS FÍSICOS, TALENTO HUMANO Y METODOLOGIA

Ubicación y Características agroclimáticas:

País:	COLOMBIA	Departamento:	SANTANDER
Municipio:	CIMITARRA	Área:	RURAL

Cimitarra Santander: Es un municipio de Colombia, situado en el norte del país, en el departamento de Santander. Se encuentra a 200 km de la capital departamental, Bucaramanga. La población fue fundada en 1536, convirtiéndose en municipio el 26 de noviembre de 1966. Tiene 49.500 habitantes de los cuales 20.100 de estos habitan en la cabecera. Su economía se basa principalmente de la ganadería, el cultivo de caucho, cacao y el campo comercial de productos y servicios.

Cimitarra tiene un clima tropical. Es una ciudad con precipitaciones significativas. Incluso en el mes más seco hay mucha lluvia. Este clima es considerado según la clasificación climática de Köppen-Geiger. La temperatura media anual en Cimitarra se encuentra a 27.6 °C. Precipitaciones promedios de 2766 mm.

El Municipio de Cimitarra del Departamento de Santander es un ente territorial con un alto compromiso social, donde lo más importante es el ser humano y el mejoramiento de su calidad de vida, la intención es generar las condiciones necesarias para la oportuna prestación de los servicios públicos y sociales a través de la implementación de las herramientas de planificación del desarrollo económico, social, ambiental, la gestión del riesgo, la participación ciudadana y la administración eficaz y transparente de los Recursos Públicos.

Por parte de la alcaldía se tiene como visión para el año 2022, el Municipio de Cimitarra será 100% socialmente incluyente, con proyección turística, agropecuaria, ambiental, consolidada como una región donde la Educación, la Cultura, el Deporte, y la Participación Ciudadana sean procesos de excelencia y reconocimiento a nivel Departamental y Nacional, donde la familia, la

unidad y los valores se vean reflejados en una mejor calidad de vida, disminución de la problemática social y erradicación de la pobreza. (Alcaldía de Cimitarra., 2016).

Imagen 1. Ubicación de Cimitarra en Colombia



Fuente: Google maps <https://www.google.com/maps>

Imagen 2. Ubicación de Cimitarra en Santander



Fuente: Google maps <https://www.google.com/maps>

Infraestructura y Equipos: Computadores (software con licencia ArcGis 10.5), GPS, apoyo de los demás despachos de la alcaldía además de la infraestructura y equipos.

Personal: Personal que se encuentra laborando en la Secretaría de obras públicas e infraestructura.

- Maricela Hernández Mateus

Directora de despacho

Ingeniera Civil

- Feisan García Hernández

Arquitecto

- Johanna Atehortua

Ingeniera Civil

- Andrea Guevara

Ingeniera Civil

- Sebastián Fontecha

Ingeniero Ambiental

- Cristóbal Castaño

Asesor jurídico



- Viviana Cortez

Secretaria

METODOLOGÍA:

La metodología se plantea por fases sistemáticas y consecutivas.

La fase 1, se dará por medio de visitas técnicas de campo, verificando la información preliminar presentada por parte de un grupo de trabajo de la alcaldía y adicionalmente tener claro:

- Uso actual del suelo.
- Cuál es el proceso hidrológico que predomina sobre el material generando erosión y/o movimiento en masa.
- Establecer si se trata de escorrentía y/o infiltración.
- Caracterizar los materiales afectados.
- Constituir las condiciones hidrológicas y climáticas del terreno.
- Calcular el tamaño del área afectada y su pendiente.

Luego de tener toda esta información sintetizada, la intención es generar un dictamen de las posibles causas de la desestabilización, para así poder tener en cuenta la relación Causa-Efecto del proceso degradativo presentado, lo que permite realizar luego una planificación del uso, manejo y conservación del suelo permitiendo llegar a soluciones eficientes, eficaces y económicas ya sea en forma correctiva o de control.

En cuanto a la fase 2, que abarca la elección y diseño de la técnica más apropiada de bioingeniería, donde se llevara a cabo con la información recolectada en la fase 1, además de la literatura en general. También basarse en la ayuda de manuales de obras de bioingeniería que posean características geográficas similares para así poder tomar la decisión del método y proyectar el diseño a implementar para dar solución al problema de remoción de masas.

Para la fase 3, la intención es establecer medidas que apoyen las técnicas planteadas en la fase dos, donde ayuden a, mantener el suelo estable y así evitar nuevos y futuros deslizamientos, mejorando el agarre y la estabilidad.

RESULTADOS

FASE 1 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES ACTUALES Y POSIBLES CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO.

Se ha identificado que el municipio de Cimitarra Santander está expuesto a diferentes tipos de amenazas, dentro de las cuales se encuentra la remoción en masa, siendo uno de los factores que hacen más susceptible al municipio. Teniendo en cuenta esto, es necesario desarrollar proyectos que permitan dar control y restaurar los suelos que se encuentran degradados con la intención de evitar dicho fenómeno.

El presente análisis se le realiza a un talud desestabilizado en la vía que conduce a la escuela rural de la vereda Pérdida Alta donde se pretende plantear una alternativa de diseño para poder dar estabilidad a este.

En primer lugar la información presentada por el grupo de trabajo de la alcaldía en la cual determinaron que la zona cuenta con 1300m² y un perímetro de 154m (52m x 25m), donde los movimiento en masa fueron determinados como los más relevantes en esta zona los cuales se generan con mayor frecuencia en las temporadas de lluvia, lo cual permitió establecer que los procesos de escorrentía e infiltración se presentan conjuntamente generando un impacto negativo en la población como se puede evidenciar en la imagen 3.

Imagen 3. Talud desestabilizado Vía Pérdida Alta.



Fuente: Autor

El predio sobre el cual se evidencia el deslizamiento pertenece al señor Eduardo Martínez, quien dispone de este para actividades relacionadas con la ganadería aportando a la erosión del suelo que da lugar a la remoción en masa, sumándole la pendiente del terreno 60%. Se observan numerosos huecos tipo Urales dejados por las pezuñas del ganado, especialmente en la parte húmeda alta en donde hay afloración de agua superficial sin causar escorrentía, todo esto favorece para que se dé lugar a los derrumbes. Este es un suelo fértil con mediana capacidad de infiltración y media materia orgánica, de textura franco-arcillosa, sobre un subsuelo de matriz arcillosa profunda de tipo expansiva (3V:5H) con una profundidad mayor a 1,5 m, hay presencia de cantos rodados o rocas de tamaño mediano como se puede ver en la imagen 4.

Imagen 4. Presencia de cantos rodados.



Fuente: Autor.

En segundo lugar se realizó una inspección visual en la cual se verificó el estado del deslizamiento, donde se puede concluir que la zona presenta un alto potencial de remoción en masa, debido al alto grado de saturación del material por el aumento en la precipitación en la zona así como la pérdida de la humedad natural del suelo lo que produce que el material se encuentre suelto dando como resultado una capacidad de compacidad baja impidiendo abrasión entre una partícula y otra dando lugar a los deslizamientos desde la parte superior del talud con el posterior arrastre que producen las masas de suelo deslizado.

Teniendo en cuenta esto, entre las posibles causas del deslizamiento se plantean:

- Existe la presencia de aguas subsuperficiales que se encuentran en la parte alta del deslizamiento, es decir en la cabeza de este, lo que da como resultado una sobrecarga en el terreno sumado con la pendiente del mismo facilitando así su desplazamiento.
- Se presenta la infiltración de las aguas de escorrentía que provienen de la lluvia, la cual baja por las numerosas grietas, convirtiéndose en aguas subsuperficiales.
- Ausencia de vegetación arbórea que posea de raíces profundas, lo que facilita que se den movimientos en el suelo.
- Algunos habitantes que transitan por el lugar, comentan que han percibido fugas de agua de mangueras las cuales son usadas para abrevadero del ganado, sin embargo, en la fecha de la visita no se pudo evidenciar la situación.

FASE 2 ELECCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA TENIENDO EN CUENTA CRITERIOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS.

En primer lugar se plantean todas las alternativas que pueden implementarse para el diseño (**1. Alternativas Posibles**), seguido de la especificación de cuáles fueron seleccionadas (**2. Estructuras seleccionadas**) posteriormente el diseño de cómo serían implementadas estas estructuras con la ayuda del programa ArcGis (**3. Diseño de alternativa**), para finalizar como se van a ubicar estas estructuras de manera (**4. Especificaciones de diseño**).

1. Alternativas Posibles

Estas se dividen en alternativas de Control y de Estabilización.

- **Control.**

Para iniciar la implementación de las obras de bioingeniería es necesario determinar de qué manera se llevará a cabo el control al problema presente.

Tabla 1. Estructuras para el control de masas en movimiento.

MÉTODO	VENTAJA	DESVENTAJA
Bermas	Económicas y rápidas de construir.	Requiere de espacio amplio a la mitad del talud.
Trincheras	Sirven para controlar al mismo tiempo las aguas lluvias.	Los cantos pueden pasar fácilmente por encima.
Estructuras de retención	Retienen las masas en movimiento.	Pueden ser estructuras costosas.
Cubiertas de protección	Es uno de los métodos más efectivos para disminuir el riesgo en las carreteras.	Costos elevados.

Fuente: (Gray y Sotir., 1996).

- **Estabilización.**

Para la estabilización se debe tener en cuenta cuál o cuáles serán los sistemas más apropiados para el talud estudiado.

Los sistemas de estabilización se pueden clasificar:

- a) Conformación de talud.

La implementación de estos sistemas, tienen como objetivo lograr el equilibrio entre las masas para así reducir las fuerzas que se encargan de producir el movimiento.

Tabla 2. Métodos de conformación topográfica.

MÉTODO	VENTAJA	DESVENTAJA
Remoción de materiales de la cabeza del talud.	Efectivo para la estabilización de deslizamientos rotacionales.	En movimientos grandes las masas a remover serán de gran magnitud.
Abatimiento de la pendiente.	Efectivo para suelos friccionantes.	No es viable económicamente en taludes con pendientes altas.
Terraceo de la superficie.	Da estabilidad al deslizamiento, además permite construir obras para controlar la erosión.	Cada terraza debe ser estable e independiente.

Fuente: (Gray y Sotir., 1996).

b) Recubrimiento de la superficie.

Estos son los métodos para impedir que se dé infiltración además de la erosión reforzando el suelo más subsuperficial.

Tabla 3. Métodos de recubrimiento de la superficie.

MÉTODO	VENTAJA	DESVENTAJA
Recubrimiento de la superficie del talud.	Ayuda a controlar la erosión.	Se debe garantizar la estabilidad del recubrimiento.
Conformación de la superficie.	Puede mejorar el drenaje superficial y facilitar el control de la erosión.	Su efecto directo sobre la estabilidad es limitado.
Sellado de grietas.	Disminuye la infiltración del agua.	Estas pueden abrirse nuevamente y requieren de mantenimiento.
Sellado de juntas y discontinuidades.	Disminuye la infiltración y presiones de poros.	Pueden existir gran cantidad de discontinuidades para sellar.
Cobertura vegetal, pastos arbustos y árboles.	Representa una alternativa ambientalmente excelente.	Puede requerir mantenimiento.

Fuente: (Gray y Sotir., 1996).

c) Control de agua superficial y subterránea.

La implementación de estos sistemas se realizan con el fin de controlar el agua y los efectos que pueda causar logrando así disminuir las fuerzas que producen movimientos y a su vez aumentar las fuerzas de resistencia.

Tabla 4. Métodos de control del agua y presión de los poros.

MÉTODO	VENTAJA	DESVENTAJA
Construcción de filtros vivos.	Se recomienda ser construidos como obra complementaria.	Se deben construir estructuras para la entrega del agua.
Construcción de zanjas de drenaje.	Efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos.	Poco efectivo para estabilizar deslizamientos profundos.
Construcción de trinchos disipadores.	Muy efectivos para interceptar y controlar aguas.	Su costo puede llegar a ser alto.
Galería o túneles de subdrenaje.	Efectivos para estabilizar deslizamientos profundos.	Son muy costosos.
Pozos profundos de subdrenaje.	Son muy útiles en deslizamientos profundos con agua subterránea.	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación.

Fuente: (Gray y Sotir., 1996).

2. Estructuras Seleccionadas

- **Control**

- **Estructuras de retención**

Como solución principal se plantea realizar estructuras que retienen las masas que se encuentran en movimiento, este tipo de obras se construyen abajo del deslizamiento para así poder detenerlo, algunas de estas obras por sus materiales, diseños, magnitud, resultan muy costosos, pero a su vez son una de las soluciones más efectivas, por ende, se elige este método de control.

Se debe tener en cuenta que la intención es implementar infraestructuras donde la economía de la obra sea la menor posible además de que se adapte a las condiciones geomorfológicas de la zona, sin dejar de lado el interés por la conservación del medio ambiente y cuidarlo a nivel de paisaje. Para el planteamiento de las estructuras de retención a usar es necesario determinar el material con el cual se harán las estructuras de la obra, donde se opta por la Guadua ya que es el material predominante en los sistemas de mitigación y cumple con las consideraciones para la ingeniería de tracción y compresión ya que no es clasificada como un árbol dado que se considera una hierba gigante por su tamaño mayor a los 30 metros y que por ende ha sido utilizada para estabilizar taludes convirtiéndose en una de las mejores alternativas amigables con el medio ambiente. (Coopion et al., 1999).

La guadua angustifolia, es una especie de bambú nativa de la zona norte de Sur América. Esta ha desarrollado un papel muy importante en el desarrollo de Colombia debido a que ha sido muy utilizada como un material de construcción desde hace muchos años, gracias a sus propiedades físicas y mecánicas lo que la ha llevado a ser un material predominante en edificaciones y otras obras en la actualidad. En materia ambiental el bambú la energía que necesita para procesar en aplicaciones estructurales es menor con respecto a otros materiales como el concreto y el acero.

Según Moscoso (2003), Si se compara esta especie de Guadua con otro tipo de madera, esta cuenta con un periodo corto de renovación ya que su tallo puede llegar a crecer 18 cm al día y tomar alrededor de 3 a 5 años para alcanzar su madurez completa lo que permite clasificarla como un material de costo bajo. Adicional a esto, la guadua es un recurso abundante en comparación con otros recursos explotados forestalmente, esta condición representa una gran riqueza ambiental ya que la guadua es un importante fijador de Dióxido de Carbono (CO₂) hasta el punto en que su madera no libera a la atmosfera el gas retenido luego de ser transformada o usada en construcción, sino que este permanece fijo en la obra realizada.

- **Estabilización.**

- a) **Conformación del Talud**

- **Terraceo de la superficie:** Estructuras de estabilización construidas en sentido contrario a la pendiente formando balcones escalonados que luego son revestidos

con cobertura vegetal. Brindan estabilidad en la base de terrenos deleznales, especialmente en taludes, derrumbes y negativos de carreteras.

b) Recubrimiento de la superficie

- **Sellado de grietas.**
- **Cobertura vegetal (Pastos, arbustos y árboles).**

c) Control de agua superficial y subterránea

- **Construcción de filtros vivos:** Son zanjas interconectadas en el sentido de la pendiente, que se rellenan con camas superpuestas de Guadua, Los filtros vivos permiten la evacuación rápida de las aguas internas que saturan el terreno, conduciéndolas hasta lugares seguros, como drenajes naturales y cunetas.
- **Construcción de zanjas de drenaje:** la función principal es realizar captaciones del agua de escorrentía o superficiales que están sobre la carretera evitando que se filtren sobre el suelo, estas zanjas ayudan a que las aguas se canalicen posteriormente hacia un filtro o trincho para que de este modo se reduzca su velocidad y al mismo tiempo contribuyan reteniendo los sedimentos que puede la corriente de agua pueda contener y así colaborar para evitar la erosión.
- **Construcción de trinchos disipadores:** Permiten la evacuación rápida de las aguas de escorrentía y a su vez evitan que se erosione y profundice el cauce; por lo tanto, su función es la de disminuir la energía cinética del agua en movimiento y controlar el arrastre de materiales, estabilizan el terreno y favorecen la recuperación rápida de la vegetación. (Rivera., 2011).

3. Diseño De Alternativa

Por otro lado 21 trinchos disipadores distribuidos en el recorrido de los filtros vivos, estos permiten la evacuación rápida de las aguas de escorrentías, evitando futura erosión del suelo, contribuyendo directamente a la estabilización del terreno.

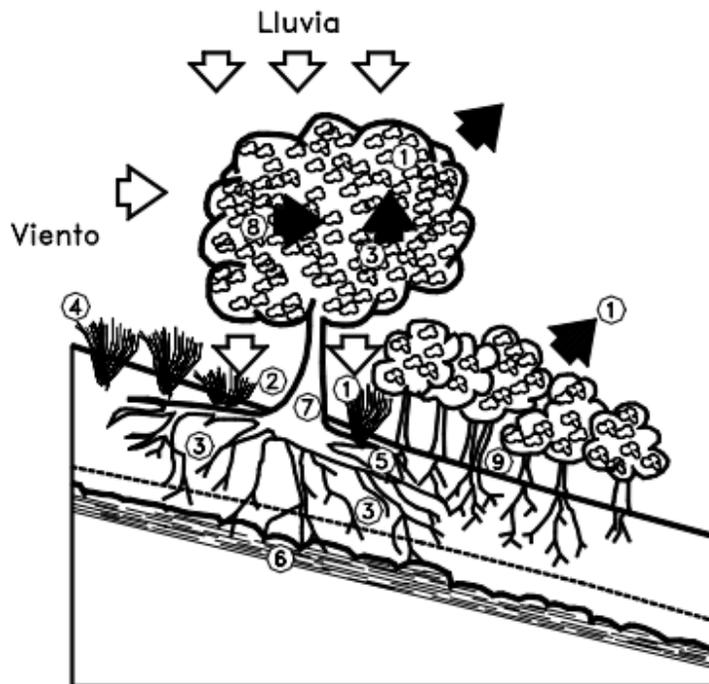
Por último, 2 terrazas vivas en el pie del deslizamiento en sentido contrario a la pendiente y una en la cabeza, Dentro del área de terrazas se construirán pequeños filtros con 9 o 12 secciones de guadua de hasta, 0,9 metros, y que permitirán el drenaje rápido de las aguas lluvias que se depositen sobre la misma y que no avancen en la escorrentía.

FASE 3 MEDIDAS DE APOYO

- **Revegetalización**

El tipo de vegetación que se encuentra en el talud como la que está arriba de este es un parámetro importante, ya que generan ciertos efectos sobre la estabilidad del mismo como se muestra en la Figura 1. Este cumple con dos funciones principalmente, uno permite determinar el contenido de agua en la superficie y dos da consistencia por el entramado de sus raíces. Esta desarrolla un papel como controlador de la infiltración donde actúa como secador del suelo al captar el agua que requiere para vivir. (Rico., 2006).

Figura 1. Efectos de la vegetación sobre la estabilidad de una ladera.



Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/231-8vegetacionybioingenieria-160422143742/95/231-8-vegetacionybioingenieria-2-638.jpg?cb=1461335874>

Factores:

- 1) Intercepta la lluvia
- 2) Aumenta la capacidad de infiltración
- 3) Extraer la humedad del suelo
- 4) Grietas por desecación
- 5) Raíces refuerzan el suelo, aumentando resistencia la cortante
- 6) Anclan el suelo superficial a mantos más profundos
- 7) Aumentan el peso sobre el talud
- 8) Transmiten al suelo fuerza del viento

- 9) Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad

Selección de especies vegetativas

La presencia de vegetación (Pastos, arbustos, árboles) constituye el último eslabón en la cadena de recuperación de suelos. Para la selección de especies vegetales se debe tener en cuenta la experiencia local, las diferencias de tolerancia y los hábitos de las especies, para así poder determinar cuáles son las óptimas para realizar la revegetalización. (Coopion et al., 1999). Cada tipo de vegetación presenta sus ventajas y desventajas como se da a conocer en la tabla 5.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de plantas.

TIPO	VENTAJA	DESVENTAJA
Pastos	Son versátiles y económicos, ofrecen buena densidad de cobertura, hay variedad de estos.	Sus raíces son poco profundas además requieren de un mantenimiento permanente.
Juncos	Se pueden establecer fácilmente en la ribera de los ríos y a su vez crecen rápido.	Para plantarlos su sistema es complejo, igual su obtención es difícil.
Hierbas	Sus raíces son profundas relativamente.	En ocasiones no se consiguen raíces y son difíciles de establecer.

Arbustos	Hay variedad para escoger, tienen buena cobertura, raíz profunda.	Pueden llegar a ser difíciles de establecer.
Arboles	No requieren mantenimiento, sus raíces son profundas.	Por lo general son costosos y su establecimiento es demorado.

Fuente: (Gray y Sotir., 1996).

Teniendo en cuenta lo anterior se define realizar la revegetalización, realizando la siembra de arbustos y empradizando todo el talud.

En primer lugar, para llevar a cabo la siembra de los arbustos, se determinó implementar *Gliricidia Sepium*, es un árbol pequeño o mediano, el árbol se utiliza en muchos países tropicales y subtropicales para diversos fines, tales como cercas vivas, forraje, sombra de cafetales y abono verde. Como cercas vivas pueden ser cultivadas a partir de estacas. Esta planta no es nativa, pero se da muy bien en la región. En un estudio, realizado en el Magdalena Medio se determinó un listado de las plantas vasculares encontradas en los municipios de Cimitarra y Puerto Berrío donde esta hace presencia. (Idarraga et al., 2016).

Para el trazado, se realiza directamente en el campo con la ayuda de cintas o cuerdas marcando el terreno con el fin de que las distancias sean uniformes, se pueden marcar los lugares con una estaca para así poder realizar los huecos. Estos serán realizados cada dos metros, en cada una de las terrazas respectivamente ya que la copa de estos arbustos no es tan amplia. Luego se procede al plateo, donde se limpia la vegetación presente en un área circular con un diámetro de 1m y se realiza un hueco en el centro del plato aproximadamente de 30 cm el cual permite colocar el árbol.

Para la siembra es ideal realizarla en época de lluvias, donde se retira la bolsa de la planta (esta debe tener un porte mayor a 30cm con el fin de lograr una siembra exitosa) y se coloca en el hoyo rellenándolo con la tierra que se extrajo para hacer el mismo. Es recomendable después de 15 días fertilizar con productos que contengan los nutrientes necesarios para el tipo del suelo en el que se trabaja. (Harvey et al.- 2003).

En cuanto a la empradizada se recomienda sembrar Pasto vetiver de la especie zizanioides, es una Gramínea Perenne, con un sistema radical fuerte que crece de manera vertical. Bajo condiciones buenas, el sistema radical puede crecer hasta 5 metros de profundidad, y bajo la superficie del suelo se forma una barrera en raíces que permite que los suelos se estabilicen debido al amarre que el pasto vetiver les aporta a los suelos en laderas, jarillones y taludes de carreteras. (Lovera y Viloría 2016).

- **Seguimiento y monitoreo**

Por último, se le debe realizar un seguimiento y monitoreo tanto preventivo como correctivo, evitando posibles desarmes de la infraestructura implementada, esto se dará, a través de visitas de campo con periodicidad mensual donde se busca analizar la eficiencia y eficacia del proceso de estabilización, detectando inconformidades sobre la marcha para tomar medidas correctivas que optimicen el proceso mientras el proyecto avanza.

Lo primero que se analiza es que el terreno no presente movimientos, esto se comprueba con la inclinación de los trinchos, si estos siguen con la misma inclinación inicial el terreno no cedió, por el contrario, si estos presentan inclinación significa que el terreno sigue

presentando movimientos en masa, otro indicador de movimiento es la aparición de grietas, si las grietas son paralelas con los trinchos se entiende que el terreno presentó movimiento y se deberá de nuevo taponar dichas grietas, y buscar nuevas soluciones, si las grietas son perpendiculares el proceso va por el camino correcto.

Para monitorear los filtros se revisa su salida, por lo general tiene goteo constante, aunque no en gran cantidad, otra acción es cavar un hueco de baja dimensión, pero profundidad suficiente para evidenciar la capa subsuperficial del suelo, si esta capa presenta humedad excesiva el filtro está fallando, de lo contrario el proceso funciona correctamente.

Un indicador de revegetalización exitosa es que las zonas anteriormente escarpadas comienzan a presentar vegetación primaria, en cada visita periódica se debe realizar plateo que elimine la vegetación indeseable y dé paso a una correcta revegetalización.

Como acciones adicionales, se debe revisar que las zanjas estén funcionando y no estén tapadas, de lo contrario hacerles mantenimiento y limpieza.

Como evidencia de cada monitoreo se construyó un formato: Anexo 1, planilla en la cual se registra fecha, responsable y una observación que indica la existencia de inconformidades o no y en caso de existir, indica las soluciones propuestas.

CONCLUSIONES

- Se espera que al aplicar la propuesta “Diseño de alternativa para la estabilización de talud, empleando Bioingeniería para la vía que conduce a la escuela rural de la vereda Perdida Alta del municipio de Cimitarra Santander” presentada anteriormente se obtengan resultados satisfactorios a largo plazo evitando futuros deslizamientos ya que estas obras de bioingeniería permiten reconformar los taludes en menor tiempo, mitigando la falla desde su causa, brindando capacidad de resiliencia, renaturalizando el mismo y teniendo en cuenta que la economía de la obra será mucho menor siempre y cuando se lleve a cabo un adecuado cuidado y mantenimiento.
- A través de la visita de campo se logró identificar que las zonas de mayor inestabilidad presentan algunas características como poca presencia de árboles, vegetación pequeña con raíces de poco tamaño y presencia de cantos rodados lo que significa que debe intervenirse ya que el problema se va seguir presentando debido a las condiciones del terreno.
- La revisión bibliográfica dio lugar para conocer que la guadua , permite generar una buena estructura capaz de soportar y reconformar taludes desde la base hasta su parte alta impidiendo más pérdida de la vía además de los deslizamientos en la zona, por otra parte implementar una sola técnica no promete un resultado que cumpla con las expectativas por ende se recomienda implementar varias de estas (6) para dar manejo a todas las fallas encontradas.
- Las medidas de apoyo son consideradas menos importantes pero sin estas el proceso no sería exitoso ya que estas permiten mantener la obra en marcha, por un lado cuando se revegetaliza, se está permitiendo que la naturaleza interactúe con la obra sin llegar a

perjudicar el ecosistema de la zona. Y si se realiza monitoreo constate se puede determinar posibles fallas a tiempo para su posterior corrección.

CRONOGRAMA

Actividades	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
2019				
Visita de campo	x			
Redacción del diagnóstico condiciones actuales	x			
Determinación y planteamiento de posibles causas	x			
Definir técnica a usar	x			
Diseño de la implementación de la técnica	x	x		
Establecer medidas de apoyo		x		

Redacción del documento final	x	x	x	x
Acompañamiento de asesores (Interno-Externo)	x	x	x	x



DEPARTAMENTO DE SANTANDER
Municipio de Cimitarra - Santander
SECRETARIA DE OO.PP E INFRAESTRUCTURA



ANEXOS

Anexo 1: Planilla de registro seguimiento y monitoreo “DISEÑO DE ALTERNATIVA PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUD, EMPLEANDO BIOINGENIERÍA PARA LA VÍA QUE CONDUCE A LA ESCUELA RURAL DE LA VEREDA PÉRDIDA ALTA DEL MUNICIPIO DE CIMITARRA SANTANDER”

Responsable	Fecha	Observaciones	Firma

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Cimitarra Santander (2016-2019) <http://www.cimitarra-santander.gov.co/>
- Alonso, J. A., Bermúdez, F. L., & Rafaelli, S. (2011). La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación (Vol. 4). Editum.
- Brunsdén, D. 2002. The fifth Glossop Lecture. Geomorphological roulette for engineers and planners: some insights into a old game. Quart. J. of Engng. Geol. 35, 101-142.
- Bonilla, H., & Alonso, 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.
- Cabascango, A., & Maribel, L. (2010). Estudio de alternativas de muros para la estabilización del talud en el proyecto Hipermarket San Rafael-Sangolquí (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2010).
- Coopion N, Stiles R, Editors R.PC. Morgan y RJ Rickson. E y FN Spon (1999). Ecological principles for vegetation establishment and maintenance, páginas 59 a 93.
- Dai FC, Lee CF. (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology 42: 213-228
- Florez, G. D. (2014). Efectividad de la bioingeniería para el tratamiento de la erosión y los movimientos en masa en laderas. Manizales.
- Geymen A, Baz I (2008) The potential of remote sensing for monitoring land cover changes and effects on physical geography in the area of Kayisdagi Mountain and its surroundings (Istanbul). Environ. Monit. Asses. 140: 33-42.

- Gómez H, Kavzoglu T (2005) Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural network in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Eng. Geol.* 78: 11-27.
- Gray D.H. , Sotir R.B. (1996) “Biotechnical and soil Bioengineering Slope Stabilization .A Practical Guide for Soil Erosion Control”. John Wiley and Sons 378 p.Hernández Valdivieso, M. (2009). La bioingeniería en Colombia, por el camino de las alianzas estratégicas. *Revista Ingeniería Biomédica*, 3(5), 10-14.
- Harvey, C. A., Villanueva, C., Villacis, J., Chacón, M., Muñoz, D., López, M. & Navas, A. (2003). Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería en las Américas*, 10(39-40), 30-39.
- Idárraga P., Á., L. M. Urrea, F. J. Roldán P. & F. A. Cardona N. 2016. Flora del Magdalena Medio: áreas de influencia de la Central Térmica Termocentro. ISAGEN – Universidad de Antioquia, Herbario Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 279 p
- Imaizumi F, Sidle RC, Kamei R (2008) Effects of forest harvesting on the occurrence of landslides and debris flows in steep terrain of central Japan. *Forest Harv. Eff. Occur. Lands.* 33: 827-840.
- Lasanta, T., Nadal-Romero, E., Serrano-Muela, P., Vicente-Serrano, S. M., & García-Ruiz, J. M. (2010). Escorrentía y erosión tras el abandono de tierras de cultivo en montaña: resultados de la Estación Experimental “Valle de Aísa”. *Pirineos*, 165, 115-133.
- Lovera Zacarías, M. J., & Viloría Quintana, Y. Y. (2016). Programa de capacitación para el mantenimiento hídrico y nutritivo de los suelos por medio del uso del pasto vetiver (Bachelor's thesis).

- Moscoso Guerrero Francisco J. (2003). Principios y fundamentos para aplicación de bioingeniería de suelos en taludes de corte.
- Oliveros Pantoja, I., & Hernández Donado, R. (2011). Bioingeniería Solución a problemas de las ciencias biológicas y médicas apoyados en la Ingeniería. Revista Científica Ingeniería y Desarrollo, (5), 105-111.
- Quezada, L. E. (2015). Estabilización de taludes con métodos de bioingeniería.
- Rico, Alfonso (2006). La ingeniería de los suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas. Volumen 1, Editorial Limusa, México.
- Rivera, J. (2011). Sistemas de drenaje con filtros vivos para la estabilización y restauración de movimientos masales en zonas de ladera. Boletín técnico CENICAFÉ.
- Rivera, J. H. (2006). Uso social de la Bioingeniería para el control de la erosión severa. Restauración ecológica aplicada a la prevención de desastres. CIPAV - CVC.
- Rivera, J. H. (2002). Construcción de trinchos vivos para conducción de aguas de escorrentía en zonas tropicales de ladera. Avances técnicos de Cenicafé. Boletín No. 296, 1-8.
- Valenzuela Mercedes (2006) Ingeniería del paisaje o Bioingeniería. San Sebastián España. Recuperado de www.aeip.org.es
- Yagi N.- Yatabe R., Enoki M.- Hassandi A.,(1994) “The effects of Root Networks on Slope Stability”, International Conference on Landslides and Slope Stability, pp. 387-392, Kuala Lumpur, Malaysia.