

**BIOINGENIERÍA COMO AYUDA A LA SOLUCIÓN DE
ESTABILIZACIÓN EN TALUDES QUE PRESENTAN UNA
AMENAZA GEOTÉCNICA EN LA ESCARPA OCCIDENTAL
DE LA MESETA DE BUCARAMANGA**

JULIÁN ANDRÉS SERRANO GÓMEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2006

**BIOINGENIERÍA COMO AYUDA A LA SOLUCIÓN DE
ESTABILIZACIÓN EN TALUDES QUE PRESENTAN UNA
AMENAZA GEOTÉCNICA EN LA ESCARPA OCCIDENTAL
DE LA MESETA DE BUCARAMANGA**

JULIÁN ANDRÉS SERRANO GÓMEZ

Monografía presentada como requisito parcial
para optar al título de Especialista en Ingeniería Ambiental

Director:
Ing. Ovidio Portillo Gómez
Especialista en Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2006

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCION	1
DEFINICIONES	3
1. ESPECIES VEGETALES, RETROSPECTIVA EN LA CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS DE LA MESETA BUCARAMANGA	4
1.1 Vegetación como factor esencial en la conservación y protección de los suelos	4
1.2 Plan general de control de erosión	4
1.2.1 Plan Maestro de Alcantarillado	4
1.2.2 Plan Estructuras de Vertimiento	4
1.2.3 Plan Estructuras de Control de Cauces	5
1.2.4 Estabilización y Reforestación de Taludes	5
1.2.5 Remodelación Urbana	5
2. LOCALIZACIÓN, GEOLOGÍA DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
2.1 Localización	5
2.2 Geología	6
2.3 Unidad Geomorfología	7
2.4 Tipos de Suelo	7
3. FLORA Y FAUNA	8
3.1 Flora	8
3.2 Fauna	9
3.3 Parámetros climatológicos	9
3.3.1 Precipitación	9
3.3.2 Evaporación	10
3.3.3 Temperatura	10
3.3.4 Brillo Solar	10
3.3.5 Humedad relativa	10
3.3.6 Viento	10
3.3.7 Drenaje	10
4. ESTUDIO Y CARACTERIZACION BIO-INGENIERIL DE ESPECIES VEGETALES EN LA ESCARPA OCCIDENTAL DE LA MESETA DE BUCARAMANGA	11

4.1	SECTOR NAZARETH – EL CINAL	11
4.1.1	Ubicación	11
4.1.2	Topografía	11
4.1.3	Drenaje e Infiltración	12
4.1.4	Suelos	12
4.1.5	Porosidad	12
4.1.6	Fertilidad	12
4.1.7	Vegetación	12
4.2	SECTOR LA ROSITA	12
4.2.1	Ubicación	12
4.2.2	Topografía	13
4.2.3	Drenaje e Infiltración	13
4.2.4	Suelos	13
4.2.5	Porosidad	13
4.2.6	Fertilidad	13
4.2.7	Vegetación	13
4.3	SECTOR BLOQUE GUACAMAYA	14
4.3.1	Ubicación	14
4.3.2	Topografía	14
4.3.3	Drenaje e Infiltración	14
4.3.4	Suelos	14
4.3.5	Porosidad	14
4.3.6	Fertilidad	14
4.3.7	Vegetación	14
5.	ESTUDIO BIO-INGENIERIL Y SELECCIÓN DE LAS ESPECIES PREDOMINANTES	15
5.1	SISTEMA DE MANTENIMIENTO	15
5.2	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN Y EXIGENCIA DE AGUA	15
5.3	RATA DE CRECIMIENTO	16
5.4	TOPOGRAFIA	17
5.5	SISTEMA DE SIEMBRA	17
5.5.1	MÉTODO DE VEGETALIZACIÓN POR ESTACAS	17
5.6	TOLERANCIA AL SOL	18
5.7	FOLLAJE	19
5.8	RAICES	19
5.9	PRODUCCIÓN DE BIOMASA	20
6.	ANÁLISIS PARAMETROS BIO – INGENIERILES	21
6.1	ESPECIES VEGETALES OPTIMAS	22
6.2	AFLORAMIENTOS DE AGUA	24

7. COBERTURA VEGETAL	26
7.1 INTRODUCCION	26
7.2 USO DE VEGETACION PARA CONTROLAR LA EROSION Y ESTABILIZAR TALUDES	27
7.2.1 Identificación de los problemas de erosión y estabilización de taludes	27
7.2.2 La vegetación como medida para reforzar la estabilidad de pendientes y mitigar la erosión	29
8. EL PASTO VETIVER EL MANÌ FORRAJERO COMO COBERTURA ESPECIAL PARA LA ESTABILIZACION Y CONTROL DE LA EROSION	30
8.1 EXPERIMENTOS PARA STABLECER ALGUNOS ATRIBUTOS DE INGENIERIA DEL PASTO VETIVER	31
8.1.1 Ensayos del control de la erosión	31
8.1.2 Ensayos de resistencia al cortante del suelo permeado por raíces y libre de raíces, y resistencia a las raíces de tensión	32
8.1.3 Poder de penetración del pasto vetiver	33
8.2 EL PASTO VETIVER PARA CONTROLAR LA EROSION Y ESTABILIZAR PENDIENTES CON ENFASIS ESPECIAL EN APLICACIONES DE INGENIERIA	34
8.3 CONSEJOS PARA LA SIEMBRA, CUIDADO Y MANTENIMIENTO DEL VETIVER EN UNA OBRA CIVIL	35
8.3.1 Material para la siembra	35
8.3.2 Siembra	35
8.3.3 Riego	36
8.3.4 Mantenimiento	36
9. DISEÑO EN BIO – INGENIERIA	36
9.1 Finalidades	36
9.2 Principios Básicos	37
9.3 Técnicas	37
10. TRATAMIENTOS DE CONTROL Y ESTABILIZACION DE TALUDES	41
10.1 ESTRUCTURA DE POSTES DE MADERA	41
10.2 MURO DE POSTES DE MADERA O EMPALIZADA DE MADERA	42
10.2.1 Objetivos	42
10.2.2 Características del diseño	42

10.2.3 Ejecución	43
10.3 MURO DE LLANTAS	44
10.3.1 Objetivos	44
10.3.2 Características del Diseño	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFIA	47

CONTENIDO DE FOTOS

	Pàg
FOTO N° 1 Vista general de la meseta de Bucaramanga y la escarpa occidental	6
FOTO N° 2 XylopiA Aromática	22
FOTO N° 3 Trema Micrantha	23
FOTO N° 4 Clusia Sp	24
FOTO N° 5 Vismia Sp	25
FOTO N° 6 Talud inestable Barro Nariño, conformación, Detalle filtro	27
FOTO N° 7 Talud estable Barrio Nariño	28
FOTO N° 8 Talud completamente recuperado	29
FOTO N° 9 El pasto Vetiver y el Maní Forrajero como cobertura especial para la estabilización y el control de la erosión	30
FOTO N°10 Talud con pendiente estable y siembra de Vetiver para asegurar su estabilidad	34
FOTO N° 11 Estabilización de Talud en Vetas municipio de Santander	38
FOTO N°12 Estabilización de taludes mediante muros de sostenimiento de madera	39
FOTO N° 13 Talud inestable con viviendas en la corona del talud	40

FOTO N° 14	
Especies vegetales sembradas (vetiver)	40
FOTO N° 15	
Talud estable	40
FOTO N° 16	
Vista general de estabilización con postes de madera y polisombra para el control de la erosión en taludes de Sabana de Torres, detalle de la estabilización a través de la siembra y confinamiento de pastos	42
FOTO N° 17	
Vista frontal estabilización muros de poste de madera	43
FOTO N° 18	
Control y estabilización de canales con tratamiento de postes de madera	43
FOTO N° 19	
Tratamiento de taludes mediante muros de estabilización con llantas	45

INDICE DE TABLAS

	pàg
TABLA 1 Sistema de mantenimiento	15
TABLA 2 Capacidad de absorción y exigencia de agua	16
TABLA 3 Rara de crecimiento	16
TABLA 4 Topografía	17
TABLA 5 Método de vegetalización por estacas	18
TABLA 6 Tolerancia al sol	18
TABLA 7 Follaje	19
TABLA 8 Raíces	19
TABLA 9 Producción de Biomasa	20

INDICE DE CUADROS

	Pàg
CUADRO 1 Perdida de suelo y escurrimiento en varios tratamientos con setos vivos en dos gradientes de pendiente	32
CUADRO 2 Resistencia de las raíces de algunas plantas a la tensión	33
CUADRO 3 Cantidades de obras estructura de postes de madera	41
CUADRO 4 Cantidades de obras empalizada de madera	43
CUADRO 5 Cantidades de obra muro de llantas	45

INDICE FIGURAS

	Pàg
FIGURA 1 Parámetros Bio – Ingenieriles	21
FIGURA 2 Perfil y vista frontal de muro de neumáticos	44

TITTLE

BIOINGENIERIA AS AID TO THE SOLUCION OF ESTABILIZACION IN SLOPES THAT PRESENT A THREAT IN THE WESTERN CLIFF OF BUCARAMANGA. *

Author

JULIAN ANDRÉS SERRANO GÓMEZ **

Key Words

Bio – Ingeniería
Western Cliff
Stabilisation
Geotecnic

Description

This monography makes a study of the occidental scarp of the Bucaramanga plateau based on its geology, geomorphology, kinds of soil, including the climatic parameters more important with the purpose of select the vegetable species more often present in the area of study and make a bio-engineering characterisation bio-engineering to choose the best ones to develop programs of soil conservation at the occidental scarp of the plateau.

In this order and as a addition it is analysed the importance of the vegetable cover for the mitigation of threats of the mass dragging phenoms, with test, experiments, expertises and advices for its growing and maintenance.

Proposing bio-engineering designs for the control and treatment of the erosion so it may be used in different kind of problems of slope stability with simple and economic constructions viable for the entities which deal with this problems as for the affected by this degradation problem of the soil.

1

* Monografía

** Facultad Físico Químicas, Especialización Ingeniería Ambiental, Luis Bernardo Torres

TITULO

BIOINGENIERÍA COMO AYUDA A LA SOLUCIÓN DE ESTABILIZACIÓN EN TALUDES QUE PRESENTAN UNA AMENAZA GEOTÉCNICA EN LA ESCARPA OCCIDENTAL DE LA MESETA DE BUCARAMANGA *

Autor

JULIAN ANDRÉS SERRANO GÓMEZ **

Palabras Claves

Bio – Ingeniería
Escarpa Occidental²
Estabilización
Geotecnia

Descripción

La presente Monografía realiza un estudio de La Escarpa Occidental de la meseta de Bucaramanga basándose en su geología, geomorfología, tipos de suelo, incluyendo los parámetros climatológicos más claves con el propósito de seleccionar las especies vegetales predominantes presentes en el área de estudio y realizar una caracterización Bio – Ingenieril para elegir las más aptas con el objeto de desarrollar programas de conservación de suelos en la Escarpa Occidental de la Meseta.

En ese orden de ideas y como complemento se analiza la importancia de la cobertura vegetal, a través del Vetiver en la mitigación de la Amenaza de fenómenos de remoción en masa con ensayos, experimentos, analizando su influencia tanto en el aspecto hidrológico, como mecánico entendiendo la cobertura vegetal como un material ingenieril con el que se deben tener cuidados en su siembra y mantenimiento.

De igual manera se proponen diseños en Bio – Ingeniería para el control y tratamiento de la erosión de tal manera que puedan ser aplicables en diferentes tipos de problemas de estabilidad de taludes con diseños y construcciones simples y económicamente viables tanto para las entidades que dentro de su competencia se encuentra la solución de estos problemas como también para los ciudadanos afectados por procesos de degradación del suelo.

* Monografía

** Facultad Físico Químicas, Especialización Ingeniería Ambiental, Luis Bernardo Torres

INTRODUCCION

Colombia muestra zonas geodinámicamente muy activas, frente a otras relativamente estables, con la particularidad de que el desarrollo y concentración de la mayor parte de poblados y ciudades esta ubicada en las primeras, las cuales se encuentran alineadas sobre las fallas geológicas mayores, donde la geomorfología es mas abrupta, la profundidad de meteorización acompañada de rocas densamente tectonizadas amenaza constantemente con deslizamientos y donde las condiciones pluviométricas asociadas o no con sismos.

Como se ve nuestras ciudades se ubican prestándole más atención a la facilidad de obtener servicios, que a las amenazas de origen natural y/o antrópico.

En conclusión Bucaramanga está asentada sobre una geología muy compleja dentro de un marco tectónico de denso fallamiento, meteorización profunda, laderas inestables en topografía abrupta, cuencas de quebradas desestabilizadas en todo su recorrido con una alta tendencia a ser superpobladas.

La Bioingeniería estudia las propiedades técnicas y biológicas de las plantas vivas y su utilización como elementos de construcción en las obras de recuperación del entorno ambiental, de manera aislada o en combinación con materiales inertes como la piedra, la madera y el acero.

La presente monografía brinda información acerca de los parámetros bioingenieriles de especies nativas arbóreas y arbustivas con el propósito de seleccionar aquellas que mejor se ajusten a estos criterios.

A raíz de la gran cantidad de problemas de remoción en masa, la cercanía del problema de la erosión como fenómeno natural que se presenta en la Escarpa Occidental de la Meseta de Bucaramanga se consideró de vital importancia enfocar el estudio hacia este sector de la ciudad procediendo a caracterizar y estudiar las especies de este sector de la ciudad y seleccionar aquellas más promisorias y útiles.

La cubierta vegetal es la mejor defensa natural del terreno contra la erosión. Toda planta desde la más insignificante hierba hasta el árbol más corpulento, defiende el suelo de la acción perjudicial de las lluvias, aunque lógicamente en forma y proporción diferente, a ello se debe la feracidad de las tierras vírgenes.

Por esto mismo es indispensable el papel que cumple y seguirá cumpliendo la bioingeniería en el campo de la geotecnia.

Cuando una gota de lluvia golpea un terreno cubierto con una vegetación densa, se rompe en minúsculas goticas de agua que penetra fácilmente; cuando esa gota

golpea un suelo desnudo, la fuerza del impacto desprende partículas que quedan en suspensión y a medida que el agua se infiltra, se depositan en los espacios porales del suelo, obstruyéndolos y dificultando el paso posterior del agua, la cual se ve obligada a fluir sobre la superficie del terreno.

De esta manera se logra definir unos diseños en Bio - Ingeniería para la protección y estabilización de taludes con problemas geotécnicos y que representan una amenaza para el equilibrio ambiental de las zonas de Escarpa.

DEFINICIONES

► EROSIÓN

Es un proceso de degradación del suelo producto de agentes atmosféricos, tales como la lluvia, la temperatura, el viento, dependientes de las propiedades fisicoquímicas del suelo, la cobertura vegetal y favorecido altamente en nuestro sector por los factores antrópicos.

La erosión de los suelos en la Meseta de Bucaramanga es un fenómeno tan antiguo como su misma formación, solo que la ocupación de aquella ha acelerado tanto el problema, que ha llegado a constituirse en una grave amenaza para los habitantes de la ciudad en especial los asentamientos mas cercanos a la Escarpa Occidental de nuestra ciudad donde precisamente se encuentra nuestra zona de estudio.

► FINALIDADES DE LA BIOINGENIERÍA

Técnica. Protección contra los agentes erosivos y ayuda a la estabilización de taludes frente a los fenómenos de remoción en masa.

Ecológica. Creación y/o reconstrucción de ambientes naturales mediante la utilización de técnicas de restauración del paisaje, principalmente con especies autóctonas que aceleren la recuperación del ecosistema original de la zona.

Socioeconómica. Mejora de la gestión económica de los recursos naturales, con una disminución de los costos constructivos, energéticos y de mantenimiento.

1. ESPECIES VEGETALES, RETROSPECTIVA EN LA CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS DE LA MESETA DE BUCARAMANGA

1.1 Vegetación como factor esencial en la conservación y protección de los suelos

La cubierta vegetal es la mejor defensa natural del terreno contra la erosión. Toda planta desde la más insignificante hierba hasta el árbol más corpulento, defiende el suelo de la acción perjudicial de las lluvias, aunque lógicamente en forma y proporción diferente, a ello se debe la feracidad de las tierras vírgenes.

Por esto mismo es indispensable el papel que cumple y seguirá cumpliendo la bioingeniería en el campo de la geotécnica.

Dispersión directa, intersección por el follaje y evaporación de gotas de agua, que en esa forma no llegan al terreno, aumento de la fricción superficial y dispersión lateral de la escorrentía, así reduce su volumen y disminuye su velocidad, a esto le sumamos el efecto sujetador del sistema radicular sobre las partículas del suelo.

Cuando una gota de lluvia golpea un terreno cubierto con una vegetación densa, se rompe en minúsculas gotitas de agua que penetra fácilmente; cuando esa gota golpea un suelo desnudo, la fuerza del impacto desprende partículas que quedan en suspensión y a medida que el agua se infiltra, se depositan en los espacios porales del suelo, obstruyéndolos y dificultando el paso posterior del agua, la cual se ve obligada a fluir sobre la superficie del terreno.

1.2 Plan general de control de erosión

En 1968 se proyectó por parte de la C.D.M.B. el P.G.C.E. el cual se basó en cinco programas así:

1.2.1 Plan Maestro de Alcantarillado

Se diseñó una red de colectores e interceptores que captan y transportan las Aguas lluvias y servidas a nivel de la Meseta, contribuyendo grandemente a eliminar el caudal de aguas lluvias que bañaba la Escarpa Occidental.

1.2.2 Plan Estructuras de Vertimiento

Las estructuras de vertimiento diseñadas tenían como objeto inicial encauzar, controlar y evitar la formación de surcos y cárcavas de erosión en la Escarpa Occidental.

Los consultores propusieron 18 estructuras de vertimiento, construidos por la Secretaría de Obras Públicas.

1.2.3 Estructuras de Control de Cauces

Se diseñó la rectificación y estabilización de los cauces, a través de obras de gaviones, para reducir al máximo el poder de arrastre de las aguas, los desbordamientos y la erosión regresiva de las corrientes.

1.2.4 Estabilización y Reforestación de Taludes

Como complemento a los tres programas anteriores se proyectó el control de las aguas subterráneas por medio de filtro y canales de conducción que corrigieron las fallas causadas por las corrientes de aguas lluvias.

De igual manera se diseñaron taludes con pendientes que no generaran amenaza geotécnica y contribuyeran a mejorar el entorno paisajístico y ambiental de la Meseta de Bucaramanga.

1.2.5 Remodelación Urbana

El programa diseñó una vía perimetral a lo largo de la Escarpa, para garantizar el control de la corona de los taludes que conforman la Meseta de Bucaramanga.

2. LOCALIZACIÓN, GEOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO.

2.1 Localización

El área propuesta para realizar el estudio se encuentra localizada en las Coordenadas planas; 1'274.000 – 1'284.500 norte y 1'100.000 – 1'106.000 este, comprende un área aproximada de 2200 Ha.

El sector comprendido entre el Sistema de drenaje Quebrada La Picha y La Iglesia en el sentido Norte – Sur y la Corona de los taludes que conforman la parte occidental de la Meseta hasta el Río de Oro en el sentido Oriente – Occidente; siendo esta el área de la Escarpa Occidental, allí se observó el comportamiento general de las Especies Nativas, que se encuentran distribuidas, ya sea por generación espontánea ó inducida y dependiendo de la Edad del Bosque; como rastrojo alto ó rastrojo bajo.

FOTO No 1
Vista General de la Meseta de Bucaramanga y la Escarpa Occidental.



2.2 Geología

❖ Miembro Organos (Qbo)

Esencialmente en la Escarpa Occidental cuyas secciones estratigráficas se ubican en los Barrios La Feria, La Joya, Don Bosco y el Barrio Café Madrid. Es un nivel grueso que no presenta estructuras internas, el contacto inferior es neto, continuo y suavemente ondulado.

Geomorfológicamente la Escarpa Occidental esta conformada básicamente por valles profundos con pendientes mayores a un 70 %, con drenajes densos, disminuyendo su pendiente en la parte Norte a un 40 % formando la parte superior de esta Escarpa.

Texturalmente es una grava arenosoldada y lodoarenosa; Las gravas son subredondeadas de tamaño medio, presentan areniscas blancas silíceas 45 % areniscas 15 %, ígneos y metamórficos 10 % y al meteorizarse forma un suelo naranja.

2.3 Unidad Geomorfología

❖ Unidad Escarpas, Subunidad Borde de la Escarpa (BEO).

Se localiza en los bordes de la Meseta de Bucaramanga, el drenaje es denso, dendrítico, paralelo y de cañadas profundas. Litológicamente corresponde a los segmentos Gravoso y Finos de la Formación Bucaramanga. La vegetación es escasa y se pueden observar cárcavas y grietas longitudinales. La erosión es de alto grado y se evidencian coronas de antiguos deslizamientos.

2.4 Tipos de Suelo

Basado en el Estudio Ecológico de la Escarpa de Bucaramanga realizado por la Corporación de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga C.D.M.B. en 1995 se identificaron siete tipos de suelo:

❖ Suelos de la Planicie Aluvial

Correspondiente a la Asociación Río de Oro, que se encuentra en un 17.5 % del área estudiada, son livianos de retención húmeda media, buena aireación y permeabilidad moderadamente rápida y se adaptan una gran variedad de cultivos sin mayor peligro de erosión.

❖ Suelos de Terrazas

Cubren 3.7 % del área estudiada son suelos muy jóvenes y superficiales, con alto volumen de piedras que restringen su uso a vegetación permanente.

❖ Suelos de los Valles Estrechos

Correspondiente a la Asociación la Picha – La Victoria, se encuentran en un 7.2 % del área estudiada, son suelos superficiales, de baja retención de humedad, de alta permeabilidad y susceptibilidad a la erosión, que restringen su uso a cultivos de corto crecimiento (hortalizas), bajo estrictas medidas de conservación de suelos.

❖ Suelos de los depósitos torrenciales

Correspondiente a la Asociación Granados – cañada Motosí, cubre en un 7.5 % el área estudiada, son suelos moderadamente profundos, tienen capacidad de

retención, de humedad moderada, son bien aireados y de buena permeabilidad, son susceptibles a la erosión y su uso se restringe a vegetación permanente.

❖ **Suelos de la Meseta**

Correspondientes a la Asociación Bellavista se encuentran en un 2.6 % de área estudiada alta capacidad de retención de la humedad, buena permeabilidad y aireación, son moderadamente drenados y profundos, se adaptan al establecimiento de cultivos limpios, con severas medidas de conservación de suelos, pues su susceptibilidad a la erosión es alta.

❖ **Suelos de las vertientes y estribaciones de la Meseta**

Correspondientes a La Joya – Polvorín; ocupan la mayor parte del área estudiada con un 59.6%, son de carácter esquelético, contiene materiales gruesos, superficiales, tiene retención de humedad moderada, buena aireación y permeabilidad y pueden utilizarse para vida silvestre, recreación y protección.

❖ **Suelos Coluviales de las vertientes de la Meseta**

Correspondientes a la Asociación regaderos cubren 1.9 % del área estudiada, alto contenido de piedras, alta capacidad de retención de humedad, buena permeabilidad y aireación y fuertes pendientes; todo esto hace que se restrinja su uso a la reforestación y regeneración natural del bosque.

3. FLORA Y FAUNA

3.1 Flora

Según la C.D.M.B. y su estudio de la Escarpa Occidental del año 1995 se encontraron tres etapas de sucesión y solo se hizo énfasis en la vegetación de sucesión secundaria por su significado en cuanto a la comprensión de la estructura y dinámica de las comunidades vegetales.

La vegetación de Rastrojo Bajo se encuentra en una etapa de sucesión secundaria temprana, caracterizada por dos estratos bien diferenciados; el estrato alto con especies que poseen copas horizontales y el estrato bajo muy denso, con especies herbáceas frecuentes.

La vegetación de Rastrojo Alto se encuentra en una etapa de sucesión avanzada, caracterizada por dos estratos; el estrato alto contiene especies con copas heterogéneas y el estrato bajo menos denso; con escasas especies herbáceas.

Los suelos de los rastrojos altos están cubiertos por una capa mayor de hojarasca que los rastrojos bajos, lo que proporciona mejores condiciones para su recuperación. En algunas partes del Rastrojo alto la capa de hojarasca tiene un espesor de 20 – 30 cm, mientras que las de rastrojo bajo mide 5 cm.

3.2 Fauna

El área de estudio se caracteriza por poseer una variedad de reptiles, aves mamíferos e insectos; entre las especies nativas se conserva: iguana, lagartija, paloma abuelita, coral, cardenal, azulejo, carpintero, fara, ardilla, perezoso, perdiz sabanera.

3.3 PARAMETROS CLIMATOLÓGICOS

3.3.1 Precipitación

La precipitación es la fuente primaria del suministro de agua, incluye todas las formas de humedad que caen en la tierra, es producida principalmente por el vapor de agua presente en la atmósfera. La humedad es reabastecida por evaporación y transpiración y disminuida por precipitación. Para que se produzca la condensación y el crecimiento de las gotas de agua o cristales de hielo, necesarios para la precipitación, se requiere el enfriamiento del aire.

La lluvia es la precipitación de gotas líquidas de agua. Las gotas de agua tienen en general diámetros superiores a 0,5 mm y pueden llegar a unos 3 mm. Las gotas grandes tienden a achatarse y a dividirse en gotas menores por la caída rápida a través del aire. La precipitación de gotas menores, llamada llovizna, suele limitar fuertemente la visibilidad, pero no suele producir acumulaciones significativas de agua.

La cantidad o volumen de agua caída se expresa como la altura que alcanzaría el agua caída sobre el terreno suponiendo que no hubiera pérdidas o infiltraciones. Se suele expresar en milímetros. Existe una equivalencia entre esta medida en milímetros y el volumen por superficie, de manera que 1 mm de altura supone 1 l/m².

En la estación U.I.S. la máxima precipitación mensual es de 275 mm y se presenta en el mes de Marzo y la mínima precipitación es de 2 mm y se presenta en los meses de Enero y Diciembre.

Los valores de precipitación media anual en las estaciones Llano Grande y UIS son de 956 mm y 1230 mm respectivamente.

3.3.2 Evaporación

En la estación U.I.S. se presenta un valor máximo mensual de 166.3 mm y un valor mínimo mensual de 61 mm. En la estación Llano Grande se registra un valor máximo mensual de 159 mm y un mínimo de 119 mm.

3.3.3 Temperatura

Temperatura media anual en la estación UIS es de 23° C, con un valor máximo de 25.3° C en el mes de Abril de 1976 y un mínimo de 20.8° C en Diciembre de 1975 . En la Estación Llano Grande se registra una temperatura media de 24.7° C, con un valor máximo de 26.7° C en Junio de 1995 y un mínimo de 21.6° C en el Mes de Febrero de 1989.

3.3.4 Brillo solar

La estación UIS presenta un brillo solar anual de 1350 horas de sol ó 3.7 horas / día presentando un máximo de 241 horas el mes de enero de 1995 y un mínimo de 15 horas, en marzo de 1985, y en la Estación Llano Grande, se presenta un brillo solar anual de 2496 horas de sol.

3.3.5 Humedad relativa

La Humedad Relativa media anual registrada en la estación UIS es de 82 % presentando variaciones mensuales entre 69 – 89 %, y en la estación Llano Grande, la humedad relativa media es de 79 % registrando variaciones mensuales entre 66 – 94 %.

3.3.6 Viento

La estación UIS presenta los siguientes parámetros presentando una velocidad promedio anual de viento registrada de 1.9 m / s y valores mínimos mensuales de 1.1 m / s en Noviembre de 1991, y como máximo mensual 2.4 m /s en Septiembre de 1976.

3.3.7 Drenaje

El drenaje de la Escarpa Occidental de la Meseta de Bucaramanga consiste en la Quebrada la Picha, La Quebrada Chapinero, Quebrada Dos Aguas – Las Navas, Quebrada La Argelia, Quebrada La Marino, Quebrada La Cuyamita, Quebrada Seca, Quebrada La Joya, Quebrada La Rosita, estas tres anteriores entregando sus caudales a la Quebrada Chimitá, continuando con la Quebrada La Iglesia y todas estas entregando sus respectivos caudales al Río de Oro.

El drenaje artificial ó desecación es la extracción de aguas a objeto de recuperar o habilitar terrenos que contienen un exceso de humedad, para darles nuevos usos.

El drenaje natural del suelo consiste en la evacuación e infiltración de agua en el perfil de suelo, la humedad retenida está determinada por la estructura y textura del suelo, influyendo notablemente en el buen comportamiento durante su vida.

Tipos de drenaje

- ❖ **Rápido:** El agua desaparece en profundidad eficazmente, estrato inferior es permeable, el nivel freático es profundo y no se observan rastros de oxidación, suelos porosos, de textura gruesa, escarpados.
- ❖ **Bueno:** El agua se evacua con facilidad pero no con rapidez, el excedente de agua desaparece fácilmente en profundidad si el estrato inferior es permeable ó por escurrimiento lateral. Suelos de textura media y bien estructurados que retienen la cantidad óptima de humedad para concebir un excelente desarrollo de la mayoría de especies vegetales.
- ❖ **Malo:** La evacuación del agua es lenta y el suelo permanece húmedo casi todo el año y el nivel freático permanece muy cerca de la superficie; suelos de textura y profundidad diversa, caracterizado por el color gris y notables manchas de meteorización en el primer metro

4. ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN BIO – INGENIERIL DE ESPECIES VEGETALES EN LA ESCARPA OCCIDENTAL DE LA MESETA DE BUCARAMANGA.

4.1 SECTOR NAZARETH – EL CINAL

4.1.1 Ubicación

Entre los 850 y 950 metros sobre el nivel del mar colindando por el Oriente con la Zona Urbana, en el Norte con la Quebrada La Picha, al Sur Occidente con la Quebrada Dos Aguas.

4.1.2 Topografía

Pendientes de 70 a 135 % con drenaje de cañadas profundas en el sector del vivero Nazareth, en el Barrio El Cinal se encuentran valles alineados hacia los costados de las Quebradas y estoraques altamente erosionados.

4.1.3 Drenaje e Infiltración

Presenta un buen drenaje ya que el agua se evacua con facilidad debido a la pendiente del terreno, los suelos subsuperficiales presentan una capacidad de infiltración de moderada a alta por tratarse de suelos producto de rellenos sueltos o por la depositación de los deslizamientos de suelos francos con presencia de Gravas y Arenas, en el sector del Cinal se observaron conglomerados envueltos en matriz arcillosa lo cual facilita la retención de la humedad.

4.1.4 Suelos

En el sector se encuentran suelos típicos de las vertientes y estribaciones de la Meseta con materiales gruesos superficiales y con retención de humedad moderada.

Depósitos coluviales donde el 60% son cantos y bloques subangulares de baja esfericidad y el 40% pertenecen a una matriz arenoarcillosa.

4.1.5 Porosidad

Alta debido a la estructura interna que presenta el perfil de suelo con buena aireación, en los primeros 0.15 m de profundidad se observan gran variedad de microorganismos conviviendo los cuales ayudan a airear el suelo manteniéndolo húmedo y fresco generando las condiciones propicias para el desarrollo de las plantas.

4.1.6 Fertilidad

Según los datos suministrados por la C.D.M.B. la fertilidad de estos suelos son ricos en micronutrientes y se observan bajos contenidos de Boro y Magnesio. La fertilidad del suelo disminuye con la profundidad, al bajar los valores de materia orgánica y de potasio presentes.

4.1.7 Vegetación

Se encuentra vegetación inducida de Rastrojo Alto, en las estribaciones de la Meseta, en los suelos de los valles estrechos se encontró vegetación de Rastrojo Bajo.

4.2 SECTOR LA ROSITA

4.2.1 Ubicación

Entre los 760 y 890 metros sobre el nivel del mar colindando por el Oriente con la Zona Urbana de los Barrios San Miguel, Candiles, Gómez Niño, Girardot,

Santander, en el Norte con la Quebrada La Argelia, al Sur Occidente con la Quebrada La Rosita y el Río de Oro.

4.2.2 Topografía

Se observan surcos, cárcavas y estoraques que alcanzan hasta 15 metros de altura, valles alineados pertenecientes al miembro órganos (Qbo) en terrenos montañosos con pendientes del orden del 25% al 75%.

4.2.3 Drenaje e Infiltración

Debido a las características del suelo el sector tiene un excelente drenaje presentando infiltraciones moderadas por tratarse de perfiles arcillosos (CL) que impiden que poca agua se infiltre siendo el agua de escorrentía el mayor porcentaje lo cual acelera el proceso erosivo.

4.2.4 Suelos

En el sector se encuentran suelos residuales altamente meteorizados y erosionados con estratos arcillosos que profundizan a más de 20 metros, compuestos por arcillas de baja plasticidad sin presencia de material granular.

4.2.5 Porosidad

Relativamente baja, pocos microorganismos presentes, no se observaron hormigas, lombrices.

4.2.6 Fertilidad

Suelos muy pobres en nutrientes, debido que el suelo no presenta capas de materia orgánica, un drenaje excesivo, bajando los contenidos de fósforo, nitrógeno y boro. Los porcentajes altos de cobre, hierro y zinc acarrearán deficiencias de manganeso. En suelos ácidos se acentúa la deficiencia de fósforo lo que produce en la planta inhibición del crecimiento y hojas pequeñas de color verde oscuros y deficiencia en los niveles de calcio.

Las raíces de las plantas se dañan y tiene una apariencia característicamente gruesa y oscura en las puntas.

4.2.7 Vegetación

Se encuentra vegetación de Rastrojo Bajo, en zonas muy degradadas y erosionadas en condiciones de baja humedad y nutrientes.

4.3 SECTOR BLOQUE GUACAMAYA

4.3.1 Ubicación

Entre los 760 y 890 metros sobre el nivel del mar colindando por el Oriente con la Zona Urbana de LA Comuna Ocho, en el Norte con la Quebrada El loro, al Sur Occidente con la Quebrada El Macho y La Iglesia.

4.3.2 Topografía

Se observan tierras típicas de depósitos aluviales pendientes del 35% al 65% zonas comunes de cañadas en las cuales se encuentran asentados los barrios.

4.3.3 Drenaje e infiltración

Debido a las características del suelo el sector tiene un excesivo drenaje presentando afloramientos debido a la recarga que se presenta en el Macizo de Santander son suelos altamente saturados.

4.3.4 Suelos

Se pueden observar cantos subredondeados a redondeados de areniscas cuarzosas blancas, amarillentas envueltas en matrices arenolimosas. En la Parte superior se observan cantos envueltos en una matriz arenoarcillosa, suelos altamente erosionados con poca capa orgánica en determinados sectores.

4.3.5 Porosidad

Media con pocos microorganismos presentes, no se observaron hormigas, lombrices.

4.3.6 Fertilidad

La falta de Fósforo es normalmente consecuencia de la erosión de las capas ricas en materia orgánica, los bajos contenidos de boro son otro indicativo del estado de degradación de los suelos.

4.3.7 Vegetación

Se encuentra vegetación de Rastrojo Bajo y Alto, creciendo sobre zonas muy erosionadas en condiciones de buena humedad y buen drenaje.

5. ESTUDIO BIO – INGENIERIL Y SELECCIÓN DE LAS ESPECIES PREDOMINANTES

Selección de especies vegetale

Campbell (1975) reportó que los deslizamientos de suelo eran 3 a 5 veces mas frecuentes en aquellos taludes cubiertos por pastos que en aquellos cubiertos por maleza y arbustos. Los deslizamientos cubiertos por pasto eran más cortos y anchos y ocurren a ángulos de inclinación menores que aquellos cubiertos por maleza.

5.1 SISTEMA DE MANTENIMIENTO

Debido a los altos costos que conlleva mantener las plantas se requieren especies combativas y resistentes a las condiciones de la Escarpa. El 22% de las especies observadas se considera que necesita poco mantenimiento para lograr un buen desarrollo.

No	Nombre Común
1	Copilo
2	Manoleón
3	Balso
4	yarumo
5	Croto
6	Matarratón
7	Cedro
8	Trompillo
9	Clavelina
10	Cordoncillo
11	Amarga
12	Jaboncillo
13	Surrumbo

Tabla 1

5.2 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN Y EXIGENCIA DE AGUA

En la zona de estudio encontramos suelos arcillosos y arenosos, los primeros requieren especies que absorban gran cantidad de agua para asegurar un mayor y mejor secado de los suelos en el momento que el agua se infiltra y permanece en el suelo, previniendo su saturación y posterior deslizamiento. Por su parte los suelos arenosos demandan una variedad de árboles y arbustos que absorban menos agua para evitar el secado de los suelos perdiendo su propiedades y favoreciendo el arrastre de los finos.

En general las especies óptimas para el control de la erosión deben tolerara la falta de humedad y alrededor del 26% necesita para su desarrollo poca disposición de agua

N ^o	Nombre Común
1	Copillo
2	Manoleón
3	Corozo
4	Gualanday
5	Ceiba
6	Móncoro
7	Tambor
8	Surcho
9	Croto
10	Macanillo
11	Ondequera
12	Jalapo
13	Tachuelo
14	Berbiquí
15	Surrumbo

Tabla 2

5.3 RATA DE CRECIMIENTO

La rapidez de germinación y crecimiento es un factor que depende de las condiciones ambientales propias para cada especie, en la cual influyen factores como la luminosidad, agua y nutrientes que presente el suelo. Las especies vegetales óptimas para el control de la erosión deben tener una tasa de crecimiento alta, esto implica un crecimiento en la longitud del tallo anual de 1 metro de altura o más. El 47% de las especies encontradas en las escarpas tiene una tasa de crecimiento alta.

No	Nombre Común	No	Nombre Común
1	Copillo	14	Curomacho
2	Balso	15	Mortiño
3	Ceiba	16	Jalapo
4	Móncoro	17	Nauno
5	Acacio	18	Orejo
6	Cañafístula	19	Samán
7	Patevaca	20	Limoncillo
8	Yarumo	21	Dinde
9	Gaque	22	Lechoso
10	Manchador	23	Pomarroso
11	Croto	24	Cordoncillo
12	Macanillo	25	Pelillo
13	Matarratón	26	Varasanta
14	Guacharaco	28	Surrumbo

Tabla 3

5.4 TOPOGRAFÍA

La Topografía se ha determinado dentro de tres categorías principalmente: Plano (0 – 7 °), Ondulado (7 – 15 °), Escarpado (15 – 45 °). Debido a que nuestro sitio de estudio es la Escarpa Occidental de la Meseta de Bucaramanga las especies a seleccionar deben soportar pendientes altas.

No	Nombre Común	No	Nombre Común
1	Aguanoso	18	Macanillo
2	Copillo	19	Matarratón
3	Guanábano	20	Ondquera
4	Manoleón	21	Noro
5	Corozo	22	Mortíño
6	Mulato	23	Cedro
7	Gualanday	24	trompillo
8	Patevaca	25	Clavelina
9	Yarumo	26	Dinde
10	Gaque	27	Cucharo
11	Manchador	28	Arrayán
12	Surcho	29	Pomarroso
14	Cauchillo	30	Cordoncillo
15	Gusanillo	31	Varasanta
16	Pelillo	32	Tachuelo
17	Maíztostao	33	Berbiquí

Tabla 4

5.5 SISTEMAS DE SIEMBRA

Los bajos costos y la practicidad son los factores primordiales que determinarán el tipo de siembra a utilizar en el sector del estudio. Por esta razón se concluye que el tipo de siembra a utilizar será el método de vegetalización por estacas.

5.5.1 Método de Vegetalización por Estacas

Este sistema de siembra es muy económico, ya que el establecimiento resulta muy sencillo y rápido. La incorporación de plantas puede resultar muy compleja y poco eficiente cuando las propiedades fisicomecánicas del terreno son muy pobres en cuanto a nutrientes, niveles bajos de humedad y predominantemente arcillosos.

Tan solo el 50 % de las especies nativas encontradas se reproduce asexualmente

No	Nombre Común	No	Nombre Común
1	Caracolí	16	Noro
2	Copillo	17	Mortíño
3	Mulato	18	Cedro
4	Gualanday	19	Jalapo
5	Balso	20	Nauno
6	Ceiba	21	Samán
7	Móncoro	22	Limoncillo
8	Cañafistula	23	Higuerón
9	Patevaca	24	Lechoso
10	Gaque	25	Cucharo
11	Manchador	26	Arrayán
12	Croto	27	Pomarroso
13	Gusanillo	28	Cordoncillo
14	Búcaro	29	Amarga
15	Matarratón	30	Surrumbo

Tabla 5

5.6 TOLERANCIA AL SOL

La Meseta de Bucaramanga presenta cambios drásticos en las condiciones ambientales con largos periodos secos de altas temperaturas (Máxima 26.7 ° C), alta luminosidad (La Estación Llano Grande presentó un brillo solar anual de 2496 horas de sol) y lluvias de alta intensidad en lapsos de tiempo muy cortos (La precipitación máxima probable (mm) en 24 horas para la Estación UIS es de 383.04). En la etapa de germinación y los primeros lapsos de subsistencia ésta debe soportar dichas condiciones. En general el 47 % de las especies soportan alta luminosidad.

No	Nombre Común	No	Nombre Común
1	Caracolí	15	Matarratón
2	Diomate	16	Sarrapio
3	Copillo	17	Trébol
4	Manoleón	18	Noro
5	Balso	19	Cedro
6	Ceiba	20	Jalapo
7	Patevaca	21	Orejo
8	Cañafistula	22	Samán
9	Yarumo	23	Limoncillo
10	Gaque	24	Higuerón
11	Cauchillo	25	Lechoso
12	Croto	26	Arrayán
13	Macanillo	27	Mamoncillo
14	Búcaro	28	Surrumbo

Tabla 6

5.7 FOLLAJE

El follaje está constituido por la distribución de ramas y las hojas a lo largo del tallo, las hojas cumplen la función de captar el CO₂ del aire necesario para el proceso de fotosíntesis e interceptar el agua lluvia, transportándola al suelo por medio de las ramas al tallo o por goteo,

Los parámetros básicos para una especie vegetal que cumpla las funciones para el control de la erosión es tener una densidad alta es decir un alto volumen de hojas por área cubierta y se examina observando la cantidad de luz que pasa a través de las ramas de la planta, y distribución de follaje total las cuáles indican especies ramificadas desde la base, ideales para la disipación de energía de las gotas.

No	Nombre Común	No	Nombre Común
1	Aguanoso	10	Macanillo
2	Copillo	11	Matarratón
3	Guanábano	12	Noro
4	Chilca	13	Clavelina
5	Gaque	14	Limoncillo
6	Manchador	15	Cucharo
7	Surcho	16	Arrayán
8	Croto	17	Varasanta
9	Gusanillo		

Tabla 7

5.8 RAÍCEZ

La mejor protección contra el fenómeno natural de la erosión se logra con una raíz fuerte que asegure los estratos del suelo y brinde el soporte necesario para evitar los deslizamientos rotacionales y traslacionales, logrando alcanzar longitudes importantes, de esta manera se concluye que los mejores tipos de raíz para el control de la erosión son las radiales en zonas que estas no representen ninguna amenaza ni para las viviendas ni para las redes y las raíces pivotantes.

No	Nombre Común
1	Acacio
2	Cañafistula
3	Patevaca
4	Sarrapio
5	Balso
6	Tachuelo
7	Guacharaco
8	Varasanta
9	Berbiquí

Tabla 8

5.9 PRODUCCIÓN DE BIOMASA

Las especies vegetales que aporten una buena cantidad de biomasa de fácil desintegración al estar renovando las hojas mejorarán la calidad de los suelos y aumentan la porosidad del suelo y son de más rápido y fácil recuperación en eventos inesperados tales como quemas. El 13 % de las especies tiene una alta capacidad de producir biomasa.

No	Nombre Común
1	Corozo
2	Balso
3	Acacio
4	Noro
5	Jalapo
6	Orejo
7	Limoncillo
8	Surrumbo
9	Matarratón

Tabla 9

6. ANALISIS PARÁMETROS BIO – INGENIERILES

Como se definió anteriormente, el sistema de siembra por estaca condiciona el diseño al más práctico y económico: consolidándose como la variable principal en la selección. A su vez se definió la topografía como segunda variable y dentro de las especies que cumplieron con el sistema de siembra se escogieron aquellas que pueden tolerar terrenos escarpados.

A demás de estas variables se especificaron como parámetros fundamentales la rata de crecimiento alta, capacidad de absorción baja y poca exigencia de agua, sistemas de mantenimientos bajos, tolerancia al sol, densidad de follaje alta con distribución total, alta producción de biomasa.

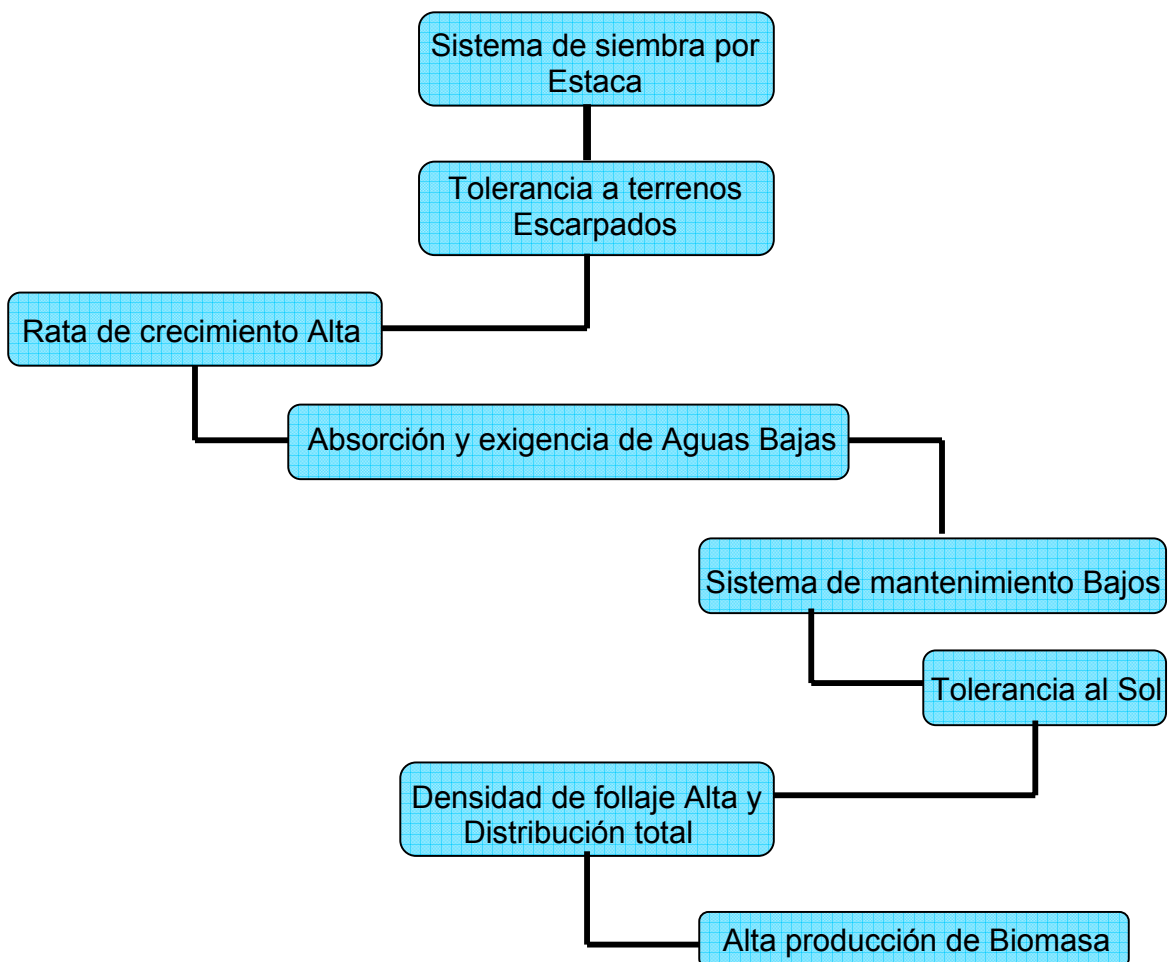


FIGURA 1

La litología de los suelos de la Escarpa, está conformada por cantos y guijarros producto de procesos aluvio – coluviales, envueltos en materiales finos los cual los hace mucho más susceptibles a procesos erosivos.

Las variables silviculturales restringen el sistema de cultivo al más económico y práctico, condicionando las especies a sistemas de siembra por estaca, mantenimientos bajos, tasas de crecimiento altas, topografías escarpadas, bajo contenido de agua que obligan a poseer capacidad de absorción.

6.1 ESPECIES VEGETALES ÓPTIMAS

Se seleccionaron las especies vegetales que cumplen 5 ó más de las variables de los parámetros bio – ingenieriles.

- NOMBRE CIENTÍFICO: XYLOPIA AROMÁTICA
- FAMILIA: ANNONACEA
- NOMBRE COMÚN: COPILLO



Foto 2

Además de cumplir con los parámetros básicos El Copillo se caracteriza por ser una especie tolerante al sol, necesita de pocos nutrientes en el suelo para su desarrollo, posee un follaje con densidad media, distribución total, forma irregular, sistema radicular pivotante incrementando la resistencia al cortante y a la fuerza tractiva del agua.

Posee una altura promedio de seis a siete metros, diámetros de 6 a 20 cm en rastrojos bajos y altos respectivamente, lo cual implica mayor protección del suelo.

Posee una hoja simple, lisas, perenne implicando poca pérdida significativa de hojas durante todo el año, además posee tamaño de lámina muy conveniente para la captación y transporte de las gotas de agua.

- NOMBRE CIENTÍFICO: TREMA MICRANTHA
FAMILIA: ULMACEAE
NOMBRE COMÚN: SURRUMBO



Foto 3

Además de cumplir con los parámetros básicos, se tiene certeza que las semillas de El Surrumbo germinan muy bien en terrenos soleados y sobreviven favorablemente con las hierbas características de estos ambientes, es una especie tolerante al sol ya que debe soportar la incidencia de luz durante largos periodos de tiempo, buena tolerancia a suelos con pocos nutrientes, posee un follaje con densidad media, distribución total, forma irregular.

Es un árbol mediano con alturas cercanas a los 7 metros y diámetro inferior a los 50 cm, sistema radicular radial su producción alta de bio masa mejora la capa orgánica del suelo rápidamente.

Es un árbol de vida corta, en la vegetación secundaria ó en los claros del bosque es reemplazado por otras especies después de los 30 años.

6.2 AFLORAMIENTOS DE AGUA

Analizando condiciones críticas de un talud erosionado, por ejemplo afloramientos concentrados de agua que son el resultado de fuerzas gravitacionales hidrostáticas, las cuales generan un movimiento del agua subterránea, que al encontrar un camino de salida o al ser obligada a emerger a la superficie del terreno generan corrientes superficiales, es conveniente por lo menos tener una especie cuya exigencia de agua y capacidad de absorción sean medias.

- NOMBRE CIENTIFICO: CLUSIA SP
FAMILIA: CLUSIACEAE
NOMBRE COMUN: GAQUE



Foto 4

Aunque no es una especie pionera, tiene características importantes para el control de la erosión:

- ◆ Tolera los suelos degradados , es decir requiere de pocos nutrientes en el suelo para su establecimiento.
- ◆ Tolera altos rangos de permeabilidad en los suelos.
- ◆ Tolera al sol. Factor primordial, ya que las especies deben soportar la incidencia de luz durante largos lapsos de tiempo.
- ◆ Posee un follaje con densidad media, distribución total y forma irregular características fundamentales en la disipación de energía de las gotas de lluvia. Es un árbol mediano con alturas cercanas a los 7m, y D.A.P inferior a los 50cm (En la escarpa se encontró con diámetros entre 4 y 9 cm para rastrojos bajos y altos respectivamente), lo que implica mayor protección del suelo, ya

que la distancia de recorrido de las gotas de agua desde la hoja hasta el suelo descubierto será relativamente corta.

- ◆ Posee raíces aéreas y laterales con diámetro delgado, que fijan el suelo superficial.
- ◆ Comportamiento muy favorable ya que se encontró en los rastrojos bajos y altos de las escarpas Occidental y de Malpaso, con porcentajes altos de Maleza, altura máxima alcanzada (en algunos casos supera los 7m, lo que indica árboles dominantes en los bosques analizados)
- ◆ Aunque en la etapa de investigación se encontró que requería un mantenimiento medio, en la localidad de estorarques de la escarpa occidental se observó gran cantidad de individuos por regeneración natural perfectamente establecidos.
- ◆ Desde el punto de vista estético, presenta una importancia paisajística ya que es utilizada con fines ornamentales.

➤ NOMBRE CIENTIFICO: VISMIA SP
FAMILIA: CLAUDIACEAE
NOMBRE COMÚN: MANCHADOR

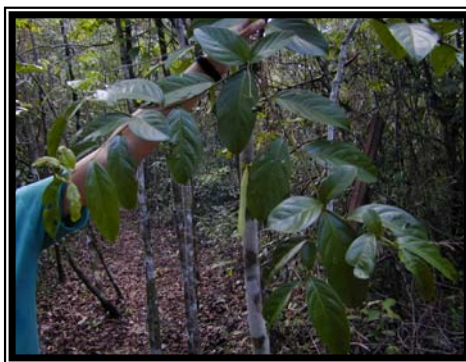


Foto 5

Aunque no es una especie pionera, tiene características importantes para el control de la erosión:

- ◆ Tolera los suelos degradados, es decir quiere de pocos nutrientes en el suelo para su establecimiento.

- ◆ Tolera al sol. Factor primordial, ya que las especies deben soportar la incidencia de luz durante largos lapsos de tiempo.
- ◆ Posee un follaje con densidad media, distribución total y forma irregular características fundamentales en la disipación de energía de las gotas de lluvia. Es un árbol mediano con alturas cercanas a los 7m, y D.A.P inferior a los 50cm (En la escarpa se encontró con diámetros entre 4 y 7 cm para rastrojos bajos y altos respectivamente), lo que implica mayor protección del suelo, ya que la distancia de recorrido de las gotas de agua desde la hoja hasta el suelo descubierto será relativamente corta.
- ◆ Sistema radicar radial. Refuerzan muy bien el suelo incrementando la resistencia al cortante y la resistencia a la fuerza tractiva del agua.
- ◆ Comportamiento poco favorable ya que se encontró con valores de importancia cercano al 3% tan solo en los rastrojos bajos y altos de las escarpas Occidental.
- ◆ Aunque en la etapa de investigación se encontró que requería un mantenimiento medio, en la escarpa occidental no se le hizo ningún tipo de mantenimiento y funciona muy bien.

Esta especie se caracteriza por ser una especie tolerante al sol, necesita de pocos nutrientes en el suelo para su desarrollo, posee un follaje con densidad media, distribución total, forma irregular, sistema radicular pivotante incrementando la resistencia al cortante y a la fuerza tractiva del agua. Posee una hoja simple, lisas, perenne, poca pérdida significativa de hojas durante todo el año, además posee tamaño de lámina muy conveniente para la captación y transporte de las gotas de agua.

7. COBERTURA VEGETAL

7.1 INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos se conoce el uso de la vegetación para controlar la erosión y estabilizar pendientes, con base en experiencias pasadas y métodos empíricos. En la última década, ha venido ganando popularidad debido al mayor nivel de conciencia sobre los asuntos ambientales y a la disponibilidad de conocimiento y parámetros que le dieron credibilidad a estas ideas.

El pasto o zacate Vetiver (*Vetiveria zizanioides*), una planta relativamente desconocida, ha sido promovido activamente desde entonces por el Banco Mundial, mediante la Vetiver Network (red Vetiver) iniciada por Dick Grimshaw,

para la conservación del suelo y el agua en el sector agrícola. Siguiendo los éxitos en ese sector. Como consecuencia de lo anterior, este pasto ha surgido como una nueva opción para afrontar los problemas de erosión y estabilidad de los suelos, ya sea por sí solo o como complemento a soluciones de ingeniería.

El estudio del pasto Vetiver relacionado con la resistencia al cortante de los suelos permeados por raíces y la resistencia de las raíces a la tensión, aportó un acervo de conocimientos científicos sobre sus características para el reforzamiento de las pendientes del suelo. La presente monografía presenta información técnica y ejemplos de aplicaciones exitosas (en ingeniería) de la cobertura vegetal para controlar la erosión y estabilizar las pendientes, en especial en los taludes de la escarpa.

7.2 USO DE VEGETACIÓN PARA CONTROLAR LA EROSIÓN Y ESTABILIZAR TALUDES

7.2.1 Identificación de los problemas de erosión y estabilización de taludes.

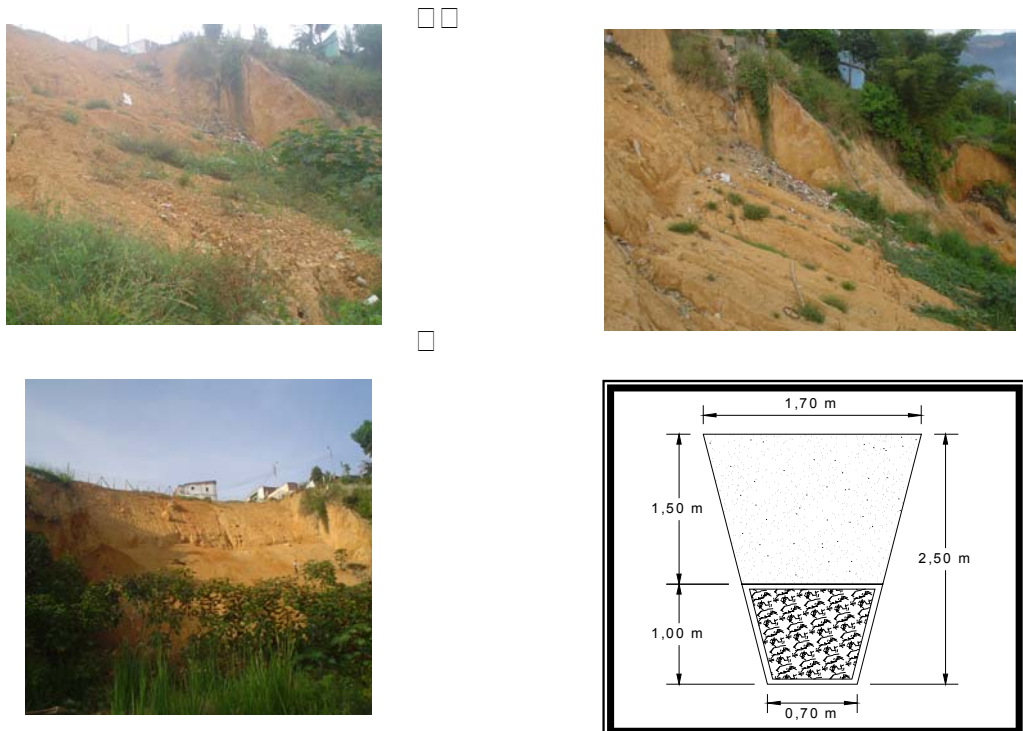


Foto 6 Talud Inestable Barrio Nariño, Conformación, Detalle Filtro.

En este talud del barrio Nariño se observaba un serio problema de erosión natural debido a los afloramientos de agua subterránea provenientes de la recarga ocurrida en el Macizo de Santander, con nula cobertura vegetal, suelos altamente degradados y meteorizados, lo cual producía un carcavamiento, aumento en la pendiente del talud ocasionando constantes desprendimientos de roca y continuos deslizamientos. Ante esta amenaza geotécnica se procedió a la construcción de un filtro de zanja que abatiera el nivel freático de la zona, para luego conformar el talud, garantizar una pendiente moderada y proceder a garantizar la cobertura vegetal con una estructura de postes de madera aumentando la resistencia al cortante mediante esta estructura.

Hoy día el talud presenta un excelente comportamiento desde el punto de vista de estabilidad con un aumento muy significativo en el factor de seguridad, valoración de las viviendas y del sector en general.

Foto 7. Talud Estable Barrio Nariño.



Al presente, la erosión, especialmente aquella de origen pluvial, con los consecuentes problemas de carcavamiento y reducción significativa en la capacidad portante, se ha convertido en uno de los más serios problemas en La meseta, ya que sus efectos son tanto ambientales como económicos. El efecto

ambiental inmediato de la erosión es el deterioro del paisaje y a largo plazo, el efecto sobre la flora y fauna, sumando a esto el problema social generado sobre los barrios legalmente establecidos en la corona de la escarpa occidental.

Los problemas de estabilidad son causados, entre otras cosas, por la geología, geometría de la pendiente, fortaleza del suelo, condición climática, las características del agua subterránea o de la infiltrada, y por su interrelación con la erosión. Los problemas de estabilidad derivados de los problemas crónicos de erosión (por ejemplo, el gradual debilitamiento de la estructura superficial del suelo) debidos a la falta de medidas preventivas o mitigantes a largo plazo, precipitarán el movimiento superficial masivo de los suelos o deslizamientos localizados, antes de que ocurra un colapso (falla) catastrófico.



Foto 8 Talud totalmente recuperado.

Los problemas de estabilidad muy arraigados o serios conducen a la búsqueda de soluciones de ingeniería (algunas veces llamadas "duras" o "inertes") para asegurar que sean lo suficientemente seguras (es decir, que tengan el factor de seguridad deseado) en especial cuando están en juego vidas humanas. Esto se puede computar normalmente en una variedad de software actualmente disponible. Por otro lado, los problemas de movimientos superficiales y de erosión son más bien difíciles de cuantificar y pueden persistir, en ciertos casos, a pesar de que se encuentren soluciones para los problemas profundos. Estos problemas se afrontan mejor mediante métodos de bioingeniería o ecoingeniería (es decir, con el uso de vegetación) los cuales no sólo abordan los problemas sino que también generan un producto final estéticamente más agradable y más beneficioso para el medio ambiente.

7.2.2 La vegetación como medida para reforzar la estabilidad de pendientes y mitigar la erosión

Existen registros que datan de tiempos antiguos en los que la gente usaba la vegetación, ya fuera viva o muerta, como un medio para mejorar la estabilidad de las pendientes. Por ejemplo, la caña se usó para reforzar el suelo alrededor de la Gran Muralla China y los zigurats en Bagdad.

Aún cuando Europa y América fueron pioneras en el uso de vegetación para el control de la erosión y la estabilización de pendientes, su conocimiento y experiencia generalmente son aplicables a sus propias condiciones climáticas, las cuales son moderadas en lo que concierne a la erosión del suelo. Por el contrario, los trópicos húmedos suelen sufrir intensos y prolongados períodos de lluvia, y algunos países o regiones deben soportar los embates de la naturaleza con mayor fuerza, en especial durante la época de los huracanes. Estas condiciones climáticas pueden producir, de tanto en tanto, deslizamientos superficiales, incluso cuando se trate de pendientes bien diseñadas y construidas con factores de seguridad de estabilidad total adecuados.

En años recientes, varios investigadores han estudiado los factores que contribuyen a la estabilidad de las pendientes con el uso de vegetación. Estos factores comprenden mecanismos hidrológicos y mecánicos. Los factores hidrológicos son la interceptación de la lluvia y la evapotranspiración y, en consecuencia, la reducción de la presión de los poros del suelo junto con incrementos en la infiltración y la permeabilidad. Los factores mecánicos son el recargo del peso de la vegetación sobre la pendiente más la resistencia al viento y el reforzamiento de las raíces. En resumen, los efectos son:

La posibilidad de que la resistencia del suelo al cortante sea incrementada por la "inclusión" o presencia de raíces que contribuyen a la aparente cohesión (c_r), de manera similar al concepto de "reforzamiento del suelo".

8 EL PASTO VETIVER COMO COBERTURA ESPECIAL PARA LA ESTABILIZACIÓN Y EL CONTROL DE LA EROSIÓN



Foto 9

Durante siglos el pasto vetiver, además de extraer aceites esenciales de sus fragantes raíces, lo usaron como fijador del suelo debido a que reforzaba los terraplenes y establecía límites para los campos de arroz; además, reforzaba las riberas de los ríos y estanques para evitar que la tierra cayera al agua. Este conocimiento nativo lo llevaron consigo los indios al emigrar allende el mar y su uso se reanudó en las nuevas tierras.

Su utilización se dio principalmente en el sector agrícola, sobre todo en la conservación del suelo y el agua. Con la creación de la Vetiver Network y la diseminación de información mediante publicaciones, talleres y seminarios, los ingenieros empezaron a considerar los beneficios de plantar pasto vetiver en los terrenos agrícolas de pendiente pronunciada para estabilizar y controlar la erosión del suelo.

Aunque pertenecen a la familia de los pastos (Graminae), el vetiver no es un pasto cualquiera. Debería ser considerado en la misma categoría que el bambú, que es tratado no tanto como un pasto sino como un árbol. En este sentido, es de interés acotar estudios anatómicos llevados a cabo en la Universidad de Bangalore⁷, que dicen:

"Aun cuando los tallos muestran las características de un pasto normal, es diferente morfológicamente de otros pastos por cuanto exhibe nudos abultados, entrenudos largos, los que en cierto grado están cubiertos por el haz de hojas no abiertas, excepto en su parte apical. Las raíces son fibrosas y son únicas debido a que tienen aerénquima en la región cortical exterior (grupos de Scitaminae). En este respecto, la planta difiere de otros pastos normales. Anatómicamente, la planta es una hidrofita; sin embargo, y debido a su sistema radicular profundo y extenso, es una planta establecida que funciona bajo condiciones xerófitas. Por consiguiente, la planta exhibe características singulares".

En publicaciones del National Research Council titulado, "Vetiver Grass: A Thin Green Line against Erosion" (Pasto vetiver: una delgada línea verde contra la erosión) y en un artículo de Truong y Baker, se describen varias de las características propias del pasto vetiver. En forma sucinta, se puede describir como una planta versátil, resistente, de rápido crecimiento, capaz de sobrevivir prácticamente en cualquiera de los países tropicales de la Cuenca del Pacífico y, sin embargo, nunca se comporta como una mala hierba. Dos propiedades importantes que hacen del pasto vetiver un recurso ideal para controlar la erosión y estabilizar las pendientes son:

Crece erecto y sus rígidos tallos son capaces de formar un seto vivo denso en 3 ó 4 meses, lo que reduce la velocidad de escurrimiento del agua de lluvia y forma un filtro eficaz de sedimentos. El seto vivo puede ajustarse en fila con el sedimento atrapado al formar nuevos retoños a partir de los nudos de las ramas superiores.

Posee un sistema radicular vigoroso y masivo que puede penetrar verticalmente hasta 2 ó 3 m de profundidad por año, dependiendo del tipo de suelo.

8.1 EXPERIMENTOS PARA ESTABLECER ALGUNOS ATRIBUTOS DE INGENIERÍA DEL PASTO VETIVER

8.1.1 Ensayos de control de la erosión

Varios investigadores han llevado a cabo estudios para determinar la capacidad de retención del pasto vetiver. Kon y Lim informaron que, comparado con un suelo desnudo, el vetiver fue capaz de reducir el escurrimiento y la erosión total del suelo (pérdida de suelo) en una proporción del 73 y 98% respectivamente. Bajo condiciones de lluvia artificial, Rodríguez encontró que el pasto vetiver puede reducir sustancialmente la pérdida de suelo y el escurrimiento, en comparación

con el tratamiento o los tratamientos de control usando otras barreras vegetales (cuadro 1). Un estudio reciente de la Universidad de Kebangsaan, Malaysia reveló que el vetiver puede atrapar 600 g/m² de pérdida de suelo superficial, en comparación con los 18 g/m² que atrapa el pasto normal de pastoreo.

Cuadro 1. Pérdida de suelo y escurrimiento en varios tratamientos con setos vivos en dos gradientes de pendiente

Tratamiento con seto vivo	Pérdida de suelo (t/hect.)		Escorrimento (% de precipitación)
	15% de gradiente	26% de gradiente	
Control (sin setos)	16,81	35,52	88
Braquearía	11,98	16,06	76
San Agustín	7,58	7,62	81
Maní Forrajero	4,22	1,55	66
Vetiver	1,13	4,91	72

8.1.2 Ensayos de resistencia al cortante del suelo permeado por raíces y libre de raíces, y resistencia de las raíces a la tensión

Las raíces de árboles y otra vegetación proveen un efecto de fortalecimiento mediante las propiedades de resistencia a la tensión, fricción o adhesión. Se puede cuantificar el efecto de reforzamiento o bien, el incremento de la resistencia del suelo al cortante debido a las raíces, realizando ensayos directos de corte en suelos permeados por raíces y en suelos libres de raíces en un mismo lugar. La diferencia en valores de los tipos de suelos cortados bajo las mismas condiciones, nos da el incremento en la resistencia al cortante debido a las raíces. Con el fin de determinar el efecto de reforzamiento del pasto vetiver, se realizaron ensayos directos de corte a gran escala en el perfil de pendiente del suelo de un terraplén cubierto con vetiver. Para cada nivel de profundidad de cortante, también se cortó, bajo la misma condición de corte, un perfil de suelo libre de raíces adyacente al suelo permeado por raíces. Conforme a los resultados del ensayo, fue obvio que la penetración de las raíces de vetiver en un perfil de suelo incrementó significativamente la resistencia del suelo al cortante.

En el proceso de estudiar una especie de planta como componente de estabilización del suelo, también se debe determinar las propiedades de resistencia de las raíces a la tensión. Esto obedece a que cuando una raíz penetra a través de una superficie potencial de cortante en un perfil de suelo, la distorsión de la zona de cortante desarrolla una tensión en la raíz; el componente de esta tensión tangencial a la zona de cortante resiste directamente el cortante, mientras que el componente normal incrementa la presión de confinamiento en el plano del cortante.

Para determinar la resistencia de las raíces a la tensión, se tomaron muestras de especímenes maduros de raíces de vetiver de dos años de edad desarrolladas en la gradiente de un terraplén. Las muestras, raíces no ramificadas y rectas, de 15 a 20 cm de largo, fueron estudiadas frescas, limitando el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y el ensayo a un máximo de dos horas. Se define la resistencia de la raíz a la tensión como la máxima fuerza de tensión de la raíz dividida por el área de corte transversal de la raíz no tensionada (sin corteza, ya que así tiene menos fuerza). La resistencia media de las raíces de vetiver a la tensión varía entre 180 y 40 MPa, para un rango de diámetro de raíz de 0,2 a 2,2 mm. La resistencia media a la tensión es de cerca de 75 Mpa para un diámetro de raíz de 0,7 a 0,8 mm, que es el diámetro más común de las raíces de vetiver. Esto equivale a aproximadamente a 1/6 (un sexto) de la máxima resistencia a la tensión del acero blando. Comparada con muchas especies de árboles de madera dura, la resistencia promedio de las raíces de vetiver a la tensión es sumamente alta. Aun cuando algunas raíces de árboles de madera dura tienen valores de resistencia a la tensión superiores a las de vetiver --en la clase de diámetro de raíz de 0,7 a 0,8 mm-- los valores promedio de resistencia de estos árboles a la tensión son menores ya que el promedio de diámetro de la raíz es mucho mayor que el de las raíces de vetiver (cuadro 2).

Nombre botánico	Nombre común	Resistencia a la tensión (MPa)
<i>Salix</i> sp.	Sauce	9-36
<i>Populus</i> sp.	Alamos	5-38
<i>Alnus</i> sp.	Alisos	4-74
<i>Pseudotsuga</i> sp.	Abeto de Douglas	19-61
<i>Acer sacharinum</i>	Arce plateado	15-30
<i>Tsuga heterophylla</i>	Cicuta del oeste	27
<i>Vaccinum</i> sp.	Gaylussacia	16
<i>Hordeum vulgare</i>	Cebada	15-31
----	Zacate, hierbas	2-20
----	Musgo	0.002-0.007
<i>Vetiveria zizanioides</i>	Pasto vetiver	40-120

Cuadro 2. Resistencia de las raíces de algunas plantas a la tensión

8.1.3 Poder de penetración del pasto vetiver

Se ha determinado que las raíces de vetiver poseen un poder innato de penetración de una capa bastante gruesa (5 cm) de concreto asfáltico. En un estudio realizado por el Departamento de Desarrollo Territorial de Tailandia, se descubrió que el vetiver podía atravesar capas duras de suelo de hasta 15 cm de espesor, con las raíces extendiéndose hasta 74 cm por debajo del nivel del suelo.

En las pendientes que se encuentran sobre roca subyacente, pedregón rodado o alguna otra capa relativamente dura, las penetrantes raíces de vetiver servirán de anclaje mediante la acción de "tendón" de sus raíces.

Con base en lo dispuesto en las secciones anteriores, se puede decir, por analogía, que las raíces de vetiver se comportan como clavos "vivos" del suelo o como clavijas del suelo de 2 a 3 m de longitud, tal como se usa en las obras civiles convencionales.

8.2 EL PASTO VETIVER PARA CONTROLAR LA EROSIÓN Y ESTABILIZAR PENDIENTES CON ÉNFASIS ESPECIAL EN APLICACIONES DE INGENIERÍA

Una pendiente que esté geotécnicamente bien diseñada y con un factor de seguridad apropiado, también necesita protección extra para asegurar su estabilidad a largo plazo, en especial en zonas con una alta precipitación pluvial y terrenos sumamente erosionables. Existen dos enfoques para hacer frente a esta problemática: (1) el enfoque "duro" o "convencional", mediante estructuras tales como superficies cementadas con lanzamiento de piedras (argamasa enrocada) o con mallas de alambre, que son costosas y de apariencia desagradable, y (2) mediante el enfoque "blando" o "verde", mediante el uso de vegetación, que es mucho menos costoso, estéticamente agradable y favorable para el entorno.

Foto 10 Talud con pendiente estable y siembra de vetiver para asegurar su estabilidad.



En años pasados, cuando a los bioingenieros y a los arquitectos de paisaje se les pedía hacer un diseño, preferían el engramado (mediante una cubierta con césped o mediante la siembra hidráulica) con o sin árboles y/o arbustos. En general, esto funciona siempre que las condiciones climáticas, del terreno y del suelo, no sean adversas. Sin embargo, si el suelo es muy arenoso o erosionable, el pasto por sí solo no evitará el deslizamiento superficial, sobre todo en una zona de alta precipitación. En terrenos con pendiente pronunciada ($>45^\circ$) los árboles y arbustos no se desarrollan bien (ni tampoco los pastos comunes); éstos, además, son muy lentos para establecerse y pueden tardar de 1 a 3 años para llegar a ser eficaces.

Es especialmente en esta situación que el vetiver puede desempeñar una función única. El pasto vetiver crece rápido en las pendientes pronunciadas o en los suelos altamente erosionables y llega a ser funcional en tan sólo 4 ó 5 meses. Asimismo, puede sobrevivir en suelos de mala calidad, con alta acidez, alcalinidad o salinidad, y puede soportar períodos prolongados de sequía y anegamiento.

8.3 CONSEJOS PARA LA SIEMBRA, CUIDADO Y MANTENIMIENTO DEL VETIVER EN UNA OBRA CIVIL

Aún cuando el vetiver parece ser un pasto muy resistente, cuando se trata de sembrarlo es bueno tomar en cuenta algunos consejos, especialmente cuando se vaya a utilizar solo o como parte de una medida de bioingeniería. Dado que el vetiver desempeña funciones de ingeniería, también se debe considerar como un "material de ingeniería" y, para ser catalogado como un buen material en este campo, debe ser sometido a especificaciones estrictas y a procedimientos de control de calidad antes de que pueda emplearse.

Como el pasto vetiver puede emplearse en trabajos interdisciplinarios, se sugiere a los ingenieros que sientan la necesidad de contar con asesoramiento sobre las técnicas agrícolas, que contraten a agrónomos o busquen la asesoría necesaria para sembrar y dar mantenimiento al vetiver.

8.3.1 Material para la siembra

Se deben emplear buenos materiales de siembra, con retoños maduros y en pleno crecimiento, y evitar el uso de retoños viejos. Cuando se requiera usar el vetiver para situaciones muy específicas, sería útil buscar ecotipos particulares que sean más apropiados para dicha aplicación, por ejemplo, variedades tolerantes al sol, al frío que hayan sido ensayadas previamente o sometidas a experimentos satisfactorios.

8.3.2 Siembra

Se recomienda efectuar análisis químicos del suelo cuando se vaya a plantar vetiver en lugares nuevos, con el fin de determinar los requerimientos de

fertilización o enmienda del suelo antes de sembrarlo. Generalmente, la siembra sigue patrones diseñados con este fin. El intervalo vertical varía entre 75 cm y 2,0 m. Para lograr líneas y niveles precisos, es útil emplear herramientas de agrimensura tales como un nivel de mano y una baliza de topógrafo. Se recomienda que el espaciamiento entre surcos sea de 15 cm (ó 7 plantas/m).

8.3.3 Riego

Es mejor sembrar el vetiver en suelo húmedo. Cuando se siembra en suelo seco se debe regar el mismo día, por lo que es sumamente recomendable regar el campo el día anterior a la siembra. Si no llueve, se necesita regar diariamente durante la primera semana, cada 2 a 3 días las dos semanas subsiguientes, dependiendo del clima (los climas secos y calientes requieren más riego) y de 2 a 3 veces por semana hasta que empiecen las lluvias o hasta que el pasto esté bien establecido.

8.3.4 Mantenimiento

Con el análisis del suelo se sabrá si se requiere fertilizante al momento de sembrar el vetiver o para su mantenimiento posterior. Como el vetiver es particularmente intolerante a la sombra, en especial durante la fase de establecimiento, durante el primer año es necesario controlar las malezas ya que pueden dar sombra, invadir y sofocar el vetiver.

9. DISEÑO EN BIO - INGENIERÍA

La bioingeniería estudia las propiedades técnicas y biológicas de las plantas vivas y su utilización como elementos de construcción en las obras de recuperación del entorno ambiental, de manera aislada o en combinación con materiales inertes como la piedra, la madera y el acero. También puede ser aplicada en tratamientos secundarios de aguas residuales.

9.1 Finalidades

Técnica. Protección contra los agentes erosivos y ayuda a la estabilización de pendientes (por ej. taludes) frente a los deslizamientos.

Ecológica. Creación y/o reconstrucción de ambientes naturales mediante la utilización de técnicas de restauración del paisaje, principalmente con especies autóctonas que aceleren la recuperación del ecosistema original de la zona.

Estética y paisajístico. Disminución de los posibles impactos y adecuación del espacio circundante.

Socioeconómica. Mejora de la gestión económica de los recursos naturales, con una disminución de los costes constructivos, energéticos y de mantenimiento.

9.2 Principios básicos

- ◆ Adecuar las condiciones técnicas de bioingeniería al lugar en concreto donde se aplicarán, teniendo en cuenta la topografía, la geología, la edafología, ...).
- ◆ Intentar mantener la vegetación existente.
- ◆ Protección de la capa superior del suelo.
- ◆ Proteger las áreas expuestas a la erosión.
- ◆ Regular, drenar y almacenar el exceso de agua.
- ◆ Optimizar los recursos económicos disponibles con resultados a corto y medio plazo.

9.3 Técnicas

Las principales técnicas se pueden clasificar en técnicas de revestimiento de taludes, de estabilización de taludes y mixtas.

I. Técnicas de revestimiento de taludes

Se utilizan materiales vegetales vivos, principalmente semillas, panes de hierba y ramas vivas, junto con materiales que se aportan e incorporan al suelo: fertilizantes, enmiendas, almohadillados, fijadores y otros aditivos.

Materiales vegetales vivos

El objetivo es la incorporación de especies vegetales, principalmente herbarias (por su durabilidad aunque su protección sea menor) con la finalidad de disminuir la pérdida de suelo. Normalmente se utiliza la hidrosiembra por la siembra a voleo de las semillas herbarias. Por otro lado también se incorporan especies leñosas que permiten la estabilización hasta 2-2'5 m de profundidad favoreciendo el drenaje de las aguas superficiales.

Materiales inertes

Destaca el uso de almohadillados o "mulching", es decir, la reutilización de los residuos vegetales generados en los desbrozos y talas, que se trituran y se incorporan como revestimiento superficial o bien se pueden compostar e incorporar a la tierra vegetal. Una obra de estabilización en el municipio de Vetás en el Municipio de Santander, en la cual se consiguió retener y evitar pérdidas de suelo ante la caída de una lluvia de 80 litros en veinte minutos.

En todos los casos, previamente a la incorporación del material vivo o inerte, se realizará (I) una protección de la vegetación existente, (II) una preparación del terreno, (III) el remodelaje del talud si es necesario, (IV) la preparación de la capa superficial y (V) las mejoras edáficas que sean convenientes.

II. Técnicas de estabilización de taludes

Incluyen el uso de material vegetal vivo o muerto para conseguir la estabilidad geotécnica del terreno.

Se pueden incorporar estacas vivas, plantando estacas en el suelo con la finalidad que éstas arraiguen y se desarrollen en una planta completa. Es una técnica que se utiliza para reparar pequeñas depresiones, creando una alfombra de raíces en el suelo, la cual lo estabiliza, reforzando y uniendo entre sí partículas de éste y eliminando un posible exceso de agua. Se aplica en situaciones en que se dispone de poco tiempo para su ejecución y para sujetar los materiales de recubrimiento utilizados para el control de la erosión.

También se utiliza el uso de fajinas vivas que conlleva la confección de manojos atados de ramas vivas cortadas de plantas leñosas, formando estructuras cilíndricas. Les ramas acostumbran a tener una longitud superior a 1 metro, y de diámetro inferior a 10 cm. Se implantan en terrazas superficiales siguiendo las curvas de nivel en pendientes secas y formando un cierto ángulo en pendientes húmedas, favoreciendo el drenaje y reduciendo la erosión superficial. Se aplica para:

- ◆ Estabilizar taludes con pendientes de 30-35° como máximo.
- ◆ Proteger deslizamientos superficiales.
- ◆ Reducir de forma inmediata la erosión superficial creando un microclima apto para su desarrollo y establecimiento de plantas, y permitir el drenaje de pendientes excesivamente húmedas.



□ □

Foto 11 Estabilización de Talud en Vetas Municipio de Santander

También se pueden utilizar camas de rama, escaleras de leña, entramados de leña y palizadas trenzadas. Como en la foto del ejemplo, se han colocado un entramado de leñas con resultados muy positivos. El uso de troncos de madera entramados permite la estabilización de los taludes, y se utiliza en aquellos que tienen una pendiente pronunciada y son resbaladizos de base, situados en zonas con profundidad de suelo y en zonas con poco espacio, requiriendo una estructura vertical de contención revegetalizada y sólida.

Foto 12 Estabilización de taludes mediante muros de sostenimiento de madera.



III. Técnicas mixtas de revestimiento

Se utilizan componentes orgánicos como geomallas, mantas orgánicas, geofombras o el sistema de geoceldas; o inorgánicos, como las mallas metálicas, para el control de la erosión superficial.

◆ Componentes orgánicos

Se usan fibras naturales (coco, esparto, paja,. fique, etc..) como protección temporal y fibras sintéticas (nilon, polietileno,...) que dan una protección a más largo plazo.

Se utilizan mucho las geomallas y las mallas orgánicas, formadas por componentes orgánicos. Las geomallas dan un efecto de refuerzo estructural y de control parcial de la erosión superficial, creando unos pequeños diques de retención evitando que la tierra y las semillas sean arrastradas. Éstas dan una protección contra la erosión más duradera y más resistente que la siembra con enconjinamiento seco o una hidrosiembra. Se acostumbran a aplicar donde sea necesaria una protección temporal de la erosión superficial y un establecimiento y consolidación de la vegetación, como soporte estructural de siembras y enconjinamientos, entre otros.

Las mantas orgánicas son otro tipo de sistema para la reducción de la erosión, muy parecido a las geomallas. En este talud del Barrio Colombia se contaba con una pendiente muy fuerte, suelos con alta permeabilidad y muy baja cohesión lo cual sumado a factores antrópicos como la saturación de los suelos por un mal

manejo de las aguas lluvias ocasionar la formación de un deslizamiento activo que amenazaba con extenderse tanto longitudinal como transversalmente. Con estas condiciones iniciales se procedió a diseñar bio – ingenierilmente una solución que mitigara la amenaza geotécnica, aumentara el factor de seguridad, la cohesión de los suelos, brindara agarre y soporte a los estratos que componen este perfil de la Escarpa Occidental de la Meseta de Bucaramanga Bloque Guacamaya de esta manera se optó por colocar una malla orgánica, para evitar la pérdida de suelo, seleccionar la especie vegetal (Vetiver) y canalizar las aguas lluvias, con este diseño la erosión ha desaparecido y la estabilidad del talud es notable.

Foto 13 Talud inestable con viviendas en la corona del talud



□

Foto 14 Especies vegetales sembradas (Vetiver)



Foto 15 Talud estable



10. TRATAMIENTOS DE CONTROL Y ESTABILIZACIÓN DE TALUDES

10.1 ESTRUCTURA DE POSTES DE MADERA

Objetivos

Estabilización de taludes.

Esta obra resulta apropiada para taludes de pendientes moderadas y escarpadas y no resulta recomendable para taludes que presenten deslizamientos activos.

Para las estacas verticales (0,5 m) y líneas diagonales se utilizan postes de madera del sector; las estacas se clavan a una profundidad de 35 cm y luego los postes se disponen diagonalmente, apoyados y alambrados. En el interior de los espacios que se forman al unir los postes (rombos), se colocan los sacos, confeccionados de malla, rellenos con tierra y semillas.

Ejecución

- ◆ Emparejar el talud.
- ◆ Rellenar canalículos.
- ◆ Clavar las estacas cada 1 m (considerando el total de la superficie a tratar) a través de líneas diagonales.
- ◆ Colocar los postes en sentido diagonal (apoyados en las estacas) conformando un diseño de rombos.
- ◆ Alambrar y clavar los postes a las estacas.
- ◆ Colocar los postes en sentido horizontal conformando un diseño de triángulos en la base de estructura.
- ◆ Clavar estacas en los ángulos interiores de los triángulos.
- ◆ Colocar los sacos de malla sombra, rellenos con tierra y semillas, al interior de las estructuras de postes, de rombos y triángulos.

Materiales	Cantidad	Unidad	Especificaciones
Estructura de postes de madera			Cada 10 m ²
Postes	15	u	Largo: 2,4 m
Estacas	30	u	Largo: 0,4 m
Alambre	0,5	kg	Nº14
Clavos	0,3	kg	Nº5''
Malla sombra tipo raschel	60	u	60 cm x 40 cm
Tierra	0,78	m ³	0,013 m ³ /saco

Cuadro 3. Cantidades de Obra Estructura de postes de madera



Foto 16 Vista general de estabilización con postes de madera y polisombra para el control de la erosión en taludes de Sabana de Torres, detalle de la estabilización a través de la siembra y confinamiento de pastos.

10.2 Muro de postes de madera o Empalizada de madera

10.2.1 Objetivos

Estabilizar taludes y cárcavas.

Estabilizar el área de contacto de talud y cauces.

Evitar la socavación en la base de taludes.

Moderar el impacto lateral del flujo directo de los cursos de agua.

10.2.2 Características del diseño

A través de este tipo de tratamientos se pueden estabilizar áreas inestables de taludes, de cauces y de cárcavas, así como también amortiguar el impacto lateral de flujos hídricos en cursos de agua.

Este tipo de muro se puede construir con distintos tipos de madera. Se recomienda utilizar postes de pino inmunizado para aumentar su vida útil a períodos superiores a 10 años.

Se construye con postes dispuestos en sentido vertical y horizontal. Los postes verticales tienen 1,2 m de largo, se entierran a 40 cm de profundidad con intervalos de 80 cm. Los postes horizontales se unen entre sí a media madera en forma de L y se rematan con clavos y alambre, después se clavan y alambran en la parte posterior de los postes verticales. Para aumentar la resistencia del muro y contrarrestar la presión del terreno sobre aquél, se colocan tirantes de alambre, en ángulo de 45°, anclados a estacas en el talud, para disminuir la pérdida de suelo en la parte posterior del muro anclan sacos de yute. El espacio remanente entre el talud y el muro se rellena con tierra.

10.2.3 Ejecución

- ◆ Emparejar el talud.
- ◆ Rellenar canalículos.
- ◆ Excavar el talud en el nivel de base del muro.
- ◆ Colocar los postes verticales.
- ◆ Unir postes horizontales entre sí con clavos y alambre.
- ◆ Clavar y alambrear postes horizontales a los postes verticales.
- ◆ Anclar sacos de yute en la parte posterior del muro.
- ◆ Colocar tirantes hacia el interior del talud.
- ◆ Rellenar con tierra el espacio entre el muro y el talud.

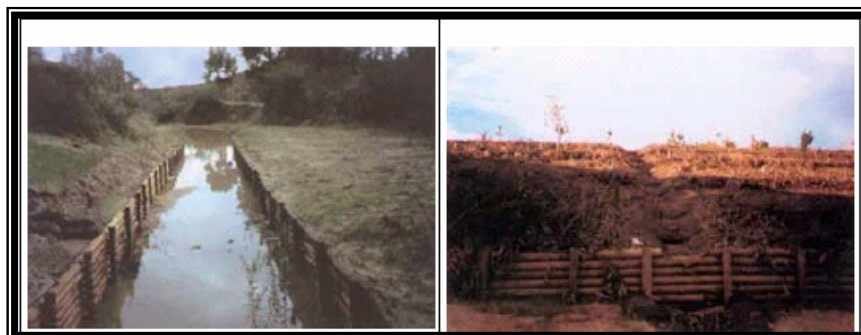
Cuadro 4 Cantidades de Obra Empalizada de madera

Material	Cantidad	Unidad	Especificaciones
Estructura de postes de madera			Cada 10 m
Postes	40	u	Largo: 2,4 m; Diámetro: 10 cm
Alambre	0,69	kg	Nº14, galvanizado, 25m; 36,3 m/kg
Clavos	7	kg	Nº5"
Piedras	12, .5	u	Diámetro: 30cm aproximadamente

Foto 17 Vista Frontal Estabilización muros de postes de madera



Foto 18 Control y estabilización de canales con tratamientos de postes de madera



10.3 Muro de Llantas

10.3.1 Objetivos

Estabilizar taludes y cárcavas.

Estabilizar el área de contacto de talud y cauces.

Evitar la socavación en la base de taludes.

Moderar el impacto lateral del flujo directo de los cursos de agua.

10.3.2 Características del diseño

A través de este tipo de tratamientos se pueden estabilizar áreas inestables de taludes, de cauces y de cárcavas, así como también amortiguar el impacto lateral de flujos hídricos en cursos de agua, además la flexibilidad del material del neumático resulta apropiada para moderar el impacto del escurrimiento provocado por las crecidas de los cursos de agua.

En la actualidad los revestimientos de llantas (forros) constituyen desechos sólidos por lo que su reutilización resulta relevante y de bajo costo. Los revestimientos neumáticos (diámetro de 60 cm) se disponen traslapados formando un muro, uno encima de otro. La primera línea o línea de base se dispone y se alambra sobre una línea de postes horizontales que se entierra bajo la superficie.

Los revestimientos se clavan con estacas de 0,6 m y se rellenan con tierra compactada.

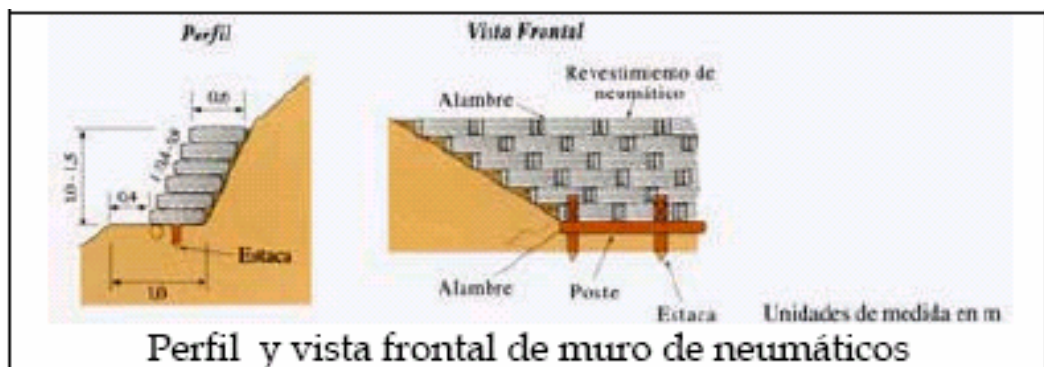


Figura 2

Ejecución

- Emparejar el talud.
- Rellenar los canaliculos.
- Excavar la base para postes horizontales.
- Disponer postes horizontales.
- Clavar estacas verticales.
- Colocar revestimientos de neumáticos.
- Alambrar revestimientos de neumáticos a postes horizontales y estacas verticales.
- Cubrir con tierra los postes horizontales y compactar.
- Rellenar con tierra los revestimientos de neumáticos y compactar.
- Disponer la siguiente línea de neumáticos en traslape y 5 cm más hacia el interior del talud que la precede.
- Alambrar los revestimientos de neumáticos a estacas verticales.
- Rellenar con tierra y compactar.
- Continuar, hasta finalizar la obra, colocando las siguientes líneas de revestimientos de neumáticos en traslape (con una diferencia de 5 cm entre ellas) y rellenar con tierra.

Materiales	Cantidad	Unidad	Especificaciones
Estructura de muro de neumáticos			Cada 10 m ²
Revestimientos neumáticos	83,5	u	Aro 13-14
Postes	4,2	u	Largo: 2,4 m; Diámetro: 4"
Alambre	4,6	kg	Nº14
Malla sombra	41,8	u	60 cm x 40 cm
Estacas	16,7	u	Largo: 0,5 m
Tierra	4,72	m ³	0,013 m ³ /saco

Cuadro 5 Cantidades de Obra Muro de Llantas



Foto 19 Tratamiento de taludes mediante muros de estabilización con llantas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La Escarpa Occidental de Bucaramanga es muy uniforme en sus aspectos físicos, topográficamente alternan las hoyadas con las cuchillas, todas afectadas por procesos erosivos.

Se encontró gran cantidad y variedad de especies vegetales que cumplen con algunos de los parámetros Bio – Ingenieriles, en ese sentido se debe trabajar por incrementar la reproducción, conservación y mantenimiento de este tipo de árboles.

A través del esquema de filtro de las especies óptimas para desarrollar en Bio – Ingeniería (Figura 1) se pudo seleccionar cuatro especies vegetales con las cuales se debe desarrollar un plan maestro de siembra en la escarpa occidental de Bucaramanga.

Los trabajos de reforestación en la Escarpa Occidental han enriquecido la vegetación natural de allí la denominación como zonas de árboles con rastrojo alto (AbRa).

Se comprobó la importancia de la cobertura vegetal en el control de la erosión a través de los ensayos estudiados y las prácticas ejecutadas en los taludes de la escarpa de Bucaramanga, concluyendo que su siembra y mantenimiento son una ventaja.

Se presentan diseños de estabilización de taludes que compiten técnicamente con las obras civiles desarrolladas habitualmente en la mitigación de la amenaza geotécnica comprobando con las cantidades de obra la diferencia económica con respecto a las soluciones tradicionales mediante muros rígidos ó flexibles.

Se debe iniciar un plan de reubicación urgente con el objetivo de crear un corredor de aislamiento de asentamientos en la corona de los taludes que conforman la Escarpa Occidental par entrar a efectuar acciones que controlen altamente el problema erosivo que afecta a la ciudad de Bucaramanga.

BIBLIOGRAFIA

HERMELIN, Michel. Algunos Aspectos Geomorfológicos de la Meseta de Bucaramanga 1989.

HERMELIN, Michel. Un Método para la Zonificación Geotécnica para Poblaciones Sextas Jornadas Geotécnicas, Normalización e Investigación en Geotécnica. Bogotá, 1990.

SUÁREZ DÍAZ, Jaime. La Erosionabilidad de los Suelos. Manual de Ingeniería para el Control de la Erosión. Bucaramanga CDMB – UIS, 1992.

SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales 1998.

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Estudio Ecológico y Ambiental de las Reservas Forestales de Bucaramanga, 1995.

FORERO DUEÑAS, Carlos Antonio. ÁVILA ALVARES, Guillermo. CARO PEÑA, Pablo. Conceptos y Metodología Básica de Zonificación Geotécnica. Quinto Congreso Colombiano de Geotécnica, Geotécnica y Medio Ambiente. Medellín, 1994.

COPPIN, NJ. Use of vegetation in civil engineering construction industry and research and information asociation (CIRIA) Butterworths. London, 1999.

Grimshaw, R.G. Vetiver Grass for Soil and Water Conservation. World Bank Technical Paper No. 273, Washinton, D.C., USA, 1998.

La pagina web de investigación del pasto vetiver. <http://www.vetiver.org>.

