

Clasificación de vegetación en taludes para el control de erosión y la estabilidad con raíces

Bryan Andrei Gómez Chiquillo

Proyecto de Grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Hebenly Celis Leguizamo

MSc. en ciencias en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

Contenido

	Pág.
Introducción	9
1. Objetivos, planteamiento del problema y justificación.....	11
1.1 Objetivos	11
1.2 Planteamiento del problema.....	11
1.3 Justificación	12
2. Antecedentes y Marco Teórico	14
2.1 Antecedentes	14
2.1.1 Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez (2001).....	14
2.1.2 Vegetación del territorio CAR, 450 especies de sus llanuras y montañas, Segunda Edición (2012).....	14
2.1.3 La vegetación como control de erosión, Virginia Alvarado García (2016).....	15
2.1.4 Efecto de las raíces sobre la resistencia al corte en suelos, Andrés Quirós Castegnaro (2012).....	15
2.1.5 Estudio y control de la erosión hídrica, Juan León (2001).	15
2.2 Marco Teórico.....	16
2.2.1. Efectos hidrológicos:	17
2.2.1.1 Intercepción de las gotas de lluvia.	17
2.2.1.2 Retención del agua.....	17

2.2.1.3. Evapotranspiración.	18
2.2.1.4 Acumulación de agua.....	19
2.2.1.5 Drenaje por el follaje.	20
2.2.1.6 Goteo por las hojas.....	21
2.2.1.7 Aumento de la infiltración.	22
2.2.2 Efectos de refuerzo del suelo	22
3. Metodología Aplicada.....	24
4. Descripción de los factores utilizados para la descripción de las especies	25
4.1 Uso principal de la especie	25
4.1.1 Uso: control de erosión	25
4.1.2 Uso: estabilidad de taludes con raíces	25
4.2 Características de las raíces	26
4.3 Hábitat.....	27
4.3.1 Precipitación anual.....	27
4.3.2 Requisitos de luz	28
4.3.3 Requisitos de suelo	28
4.4 Características físicas.....	28
4.4.1 Forma	29
4.4.2 Clima.....	29
4.5. Precio en el mercado colombiano.	29
4.5.1 Viveros.....	30
4.5.2 Empresas del sector agrícola y ganadero	31
4.6 Ventajas y desventajas	31

5. Análisis e interpretación de resultados	32
5.1 Especie usada para control de erosión:	32
5.2 Especie usada para estabilidad de taludes con raíces:	33
5.3 Especie usada para control de erosión y estabilidad de taludes con raíces.....	34
6. Conclusiones	35
7. Recomendaciones	35
Referencias Bibliográficas	37
Apéndices.....	39

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Volumen promedio de agua acumulada para diferentes especies vegetales	20
Figura 2. Medida relativa de la energía de impacto del goteo de la vegetación	21
Figura 3. Tipos de anclaje de las raíces	23
Figura 4. Tipos de anclaje de las raíces	24
Figura 5. Estructura de las raíces.	27
Figura 6. Requisitos de luz.....	28
Figura 7. Clasificación de temperatura de Caldas,.....	29

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Base de datos de las especies recolectadas	39

Resumen

Título: Clasificación de vegetación en taludes para el control de erosión y la estabilidad con raíces*

Autor: Bryan Andrei Gómez Chiquillo**

Palabras Clave: Erosión, estabilización, talud.

Descripción

La erosión en taludes corresponde a la pérdida físico-mecánica del suelo, es generada por procesos naturales como la acción de la lluvia, el viento, entre otros. La bioingeniería ha demostrado como la vegetación puede aplacar este proceso natural, la vegetación provee de beneficios hidrológicos, hidráulicos y mecánicos al suelo, además puede corregir algunas fallencias que tienen las estructuras de concreto, con el debido estudio la vegetación puede trabajar con estas estructuras y lograr resultados esplendidos. El propósito de esta investigación es referenciar las especies vegetales usadas para el control de erosión y la estabilidad de taludes con raíces, la metodología incluye el estudio acerca de los factores relevantes de las especies vegetales usadas para contrarrestar dichos problemas, entre ellos está: el follaje, el sistema de raíces, la resistencia a condiciones extremas de clima, entre otros. Con base en esa información se buscaron especies vegetales comercializadas en viveros y empresas del sector agrícola y ganadero en la región de Santander. La información recolectada se sintetizó en una base de datos y de los resultados obtenidos se encontraron: 50 especies, las cuales treinta y siete (37) sirven para control de erosión, nueve (9) sirven para estabilidad de taludes con raíces y cuatro (4) tienen ambos propósitos.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil Director: Hebenly Celis Leguizamo MSc. en Ciencias en Ingeniería Civil

Abstract

Title: Classification of vegetation in slopes for erosion control and root stability *

Author: Bryan Andrei Gómez Chiquillo**

Keywords: Erosion, slope, stability.

Erosion on slopes corresponds to the physical-mechanical loss of the soil, it is generated by natural processes such as the action of rain, wind, among others. Bioengineering has shown how vegetation can appease this natural process, vegetation provides hydrological, hydraulic and mechanical benefits to the soil, it can also correct some shortcomings that concrete structures have, with proper study the vegetation can work with these structures and achieve splendid results. The purpose of this research is to reference the plant species used for erosion control and the stability of slopes with roots, the methodology includes the study of the relevant factors of the plant species used to counteract these problems, among them is: the foliage, the root system, resistance in extreme weather conditions, among others. Based on this information, commercial plant species were searched in nurseries and companies in the agricultural and livestock sector in the Santander region. The information collected was synthesized in a database and from the results obtained were found: 50 species, of which thirty-seven (37) serve for erosion control, nine (9) serve for stability of slopes with roots and four (4) serve for both purposes.

* Degree Work

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil Director: Hebenly Celis Leguizamo MSc. en Ciencias en Ingeniería Civil

Introducción

Este artículo tiene como principal propósito la clasificación de especies vegetales usadas para el control de erosión y la estabilidad de taludes con raíces.

La erosión es el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes naturales y del hombre. (J. Tayupanta 2003). Entre las consecuencias de la erosión se encuentran: la contaminación, aumento de inundaciones y sedimentaciones, además es un tema de mucho cuidado para los ingenieros civiles, ya que puede afectar gravemente la estabilidad de taludes.

Bajo el nombre genérico de talud denominamos a la superficie inclinada, con respecto a la horizontal, que adoptan permanente o provisionalmente las estructuras de tierra. Estos pueden ser artificiales, cuando están contruidos por el hombre en sus obras de ingeniería (terraplén o desmonte), o naturales (laderas). (R. Valiente, S. Sobrecases, A. Díaz). Los taludes de origen natural que han permanecido estables por muchos años pueden fallar de forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad, además, los taludes de origen artificial no están exentos de fallar (Suarez 1998), son extremadamente sensibles a la erosión hídrica, especialmente durante la fase de construcción.

La vegetación tiene dos factores muy importantes para mitigar los problemas anteriormente mencionados, en primer lugar, tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y en segundo da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces. El efecto más importante de la vegetación, universalmente aceptado, es la protección contra la erosión. La vegetación con mayor

densidad de follaje, amortigua más eficientemente el golpe de la lluvia y disminuye la erosión, por lo tanto, para seleccionar una especie es importante analizar los siguientes factores: volumen y densidad de follaje, altura total de la cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, cubrimiento y resistencia de las raíces, ventajas y desventajas, su posición en el mercado, entre otros. (Suarez 1998).

La dificultad que se encontró en el proceso de realización de este artículo es la falta de información técnica dentro de los viveros que dificultó la recolección de los datos.

Por lo cual este proyecto brinda una herramienta para cualquier persona que desee consultar de manera sencilla, especies vegetales usadas para el control de erosión y la estabilidad de taludes con raíces, otorgándoles desde conocimientos básicos de la especie, hasta detalles técnicos.

1. Objetivos, planteamiento del problema y justificación

1.1 Objetivos

Identificar el material existente para vegetación en taludes que se utilicen en el control de erosión o para la estabilidad con raíces.

Identificar y describir las propiedades de cada especie, además establecer las ventajas y desventajas de su uso.

Crear una base de datos con la información recolectada.

1.2 Planteamiento del problema.

La vegetación que incluye árboles, arbustos, hierbas y pastos representan la mejor protección contra la erosión. Las observaciones de los taludes naturales muestran que estos son más estables con vegetación que sin ella; sin embargo, no existe claridad suficiente sobre los procedimientos de diseño de esta cobertura vegetal, especialmente en lo referente al efecto de las raíces de pastos, hierbas y árboles. La remoción de la cobertura vegetal expone el suelo a la acción de la lluvia, la escorrentía y el viento, facilitando la erosión. La vegetación es multifuncional, relativamente económica, se auto repara, es visualmente atractiva y no requiere generalmente, de equipos pesados o complejos para su instalación. Sin embargo, hay ciertas limitaciones como la susceptibilidad a las quemas y sequías, la dificultad de establecimiento en taludes de alta pendiente

y la imposibilidad de resistir fuerzas de socavación o acción del oleaje, así como su lentitud de germinación y crecimiento (Abramson, 1996).

El uso de la vegetación en obras de ingeniería civil requiere no solamente conocimientos de ingeniería sino también información relativa a las propiedades de las plantas, su estructura, altura, grosor y rigidez de los tallos, profundidad, densidad y distribución de las raíces, aptitud para el régimen climático del sitio, interacción con el agua y el suelo, resistencia a la sumergencia al pisoteo y a la quema, resistencia a la tensión, etc. No se puede diseñar un sistema de protección vegetal sin la cooperación de un especialista en plantas o por lo menos sin su consejo. Esta cooperación se requiere para seleccionar el sistema de plantas a utilizar y el sistema apropiado de siembra, crecimiento y conservación. La utilización de elementos vivos en ingeniería civil es más difícil de manejar que las obras de concreto o tierra, debido a que se tiene menos experiencia en ellas, y no existen modelos matemáticos para su análisis. (Jaime Suarez 2001).

Actualmente no se encuentra una base de datos de fácil acceso en la cual se pueda encontrar las diferentes especies utilizadas para control de erosión y estabilidad, con este documento se quiere hacer un resumen de dichas especies.

1.3 Justificación

El presente artículo se enfocará en recopilar información acerca de especies vegetales usadas para el control de erosión y estabilidad de taludes con raíces. Debido a la amenaza que conlleva la pérdida de suelo, se han establecido nuevas tecnologías para mitigar los efectos de la erosión y mejorar la calidad ambiental de los ecosistemas; para lo cual se han utilizado plantas como estructuras de sostén y refuerzo en los terrenos (Laporte y Porras 2002). El establecimiento

de coberturas vegetales constituye una práctica fácil y positiva a la salud del suelo, no solo por su baja inversión, sino por ser una alternativa eficiente en la conservación de este (Zwart et al. 2005). Así, en función de la vegetación, se incrementa la protección del suelo, se frena la escorrentía y se facilita la infiltración. Los componentes radiculares contribuyen a aumentar la resistencia mecánica del suelo, y la presencia de materia orgánica, ofrece estabilidad, rugosidad y porosidad, lo que supone un aumento en la capacidad de infiltración (Porras 2000, Laporte y Porras 2002, Bochet y García 2004)

Por esta razón, en los últimos años, se ha desarrollado una rama de la ingeniería civil, denominada bioingeniería, en donde se utiliza el conocimiento biológico para el establecimiento de elementos vivos, específicamente plantas como materiales de construcción, los cuales actúan como refuerzo, drenaje o barreras de sedimentos y favorecen el control de la erosión y la estabilización de taludes (Alvarado G. 2016).

El establecimiento de una capa protectora compuesta por especies nativas, que desarrollen una comunidad sucesora uniforme, es básico para la restauración de áreas degradadas (Rondón y Vidal, 2005). Es fundamental el uso de plantas autóctonas, ya que están bien adaptadas al medio, desarrollan un sistema de raíces extensivo, son excelentes para la vida silvestre propia del lugar y no requieren mucho mantenimiento (Alvarado et al., 2013).

El uso de coberturas vegetales constituye una práctica de baja inversión, pero muy efectiva como estructuras de sostén y refuerzo en terrenos inestables (Laporte y Porras, 2002); asimismo para la resistencia y conservación del suelo (Zwart et al., 2005). Desde el punto de vista práctico, ético y económico, esta alternativa es más sustentable y van en armonía con el ambiente; sin embargo, se deben considerar las mejores especies que logren adaptarse, colonizar y ser exitosas para las condiciones que se tengan. (Alvarado-García, Auxiliadora Z. 2018)

2. Antecedentes y Marco Teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Control de Erosión en Zonas Tropicales, Jaime Suárez (2001).

Este texto es un resumen de los modelos conceptuales y matemáticos de los mecanismos de erosión y un estado del arte de las prácticas de ingeniería en el control de erosión.

La bioingeniería en Colombia está subestimada, se prefieren las obras duras en concreto o gaviones, sobre las cuales si existen un mejor conocimiento ingenieril.

Este manual pretende llenar parte de ese vacío cultural y aunque es escrito por un Ingeniero, se intenta que los profesionales de la ingeniería puedan entender más fácilmente el lenguaje de la vegetación explicado desde su propio punto de vista.

La bioingeniería se merece un estatus profesional, y este libro es un avance en esa dirección. (Suárez 2001)

2.1.2 Vegetación del territorio CAR, 450 especies de sus llanuras y montañas, Segunda Edición (2012).

Este libro da a conocer 450 especies vegetales, propias de la región de Cundinamarca, por medio de fotografías, textos científicos y descripciones técnicas adaptadas al lenguaje popular de forma literaria, cálida y cercana al común de la gente.

2.1.3 La vegetación como control de erosión, Virginia Alvarado García (2016).

Este artículo está enfocado en brindar información de como la vegetación puede mitigar los efectos de la erosión, brindando conceptos técnicos acerca de la relación vegetación-suelo (Alvarado 2016)

Alvarado concluye: Las plantas proveen de un sostén mecánico a nivel subterráneo y una protección biofísica a nivel aéreo. Un suelo protegido es menos vulnerable a ser erosionado, sobre todo si dispone de vegetación multiestrato que amortigüe el impacto de las gotas de lluvia.

2.1.4 Efecto de las raíces sobre la resistencia al corte en suelos, Andrés Quirós Castegnaro (2012)

El propósito de este trabajo es realizar un análisis del incremento en la resistencia al corte en suelos proporcionado por las raíces de las plantas, para el posterior desarrollo de una metodología de diseño de taludes tomando en cuenta los efectos de dichas raíces. (Quirós 2012)

2.1.5 Estudio y control de la erosión hídrica, Juan León (2001).

Este texto es un trabajo monográfico y de síntesis ordenada de la información disponible, particularmente de la aplicable a la geografía colombiana, que pretende dar instrumentos de trabajo

a los ingenieros forestales y demás profesionales técnicos del sector agropecuario que se ocupan o tengan interés por la recuperación de áreas degradadas, la restauración de tierras y el control de la erosión. (León 2001)

2.2 Marco Teórico

Efectos de la vegetación

La forma como la vegetación ayuda en el control de la erosión incluye diversos factores así:

2.2.1. Efectos hidrológicos:

2.2.1.1 Intercepción de las gotas de lluvia. El follaje intercepta la lluvia impidiendo el impacto directo sobre el suelo y amortiguando la energía de las gotas. La intercepción varía dependiendo del tipo de vegetación y la intensidad de la lluvia de acuerdo con la siguiente expresión:

$$IC = Lluvia \cdot CF$$

Donde:

CF = Porcentaje de área cubierta por el follaje.

Dependiendo de la intensidad de la lluvia y del cubrimiento y tipo de vegetación en un bosque tropical, puede interceptarse hasta un 60% del total de la lluvia anual.

Parte de la lluvia interceptada es retenida y evaporada y parte alcanza finalmente la tierra por goteo o por flujo sobre las hojas y troncos. Es importante determinar el tiempo entre la lluvia y el goteo para analizar el efecto hidrológico de cada tipo de vegetación.

2.2.1.2 Retención del agua. La retención de agua en el follaje demora o modifica el ciclo hidrológico en el momento de una lluvia. Este fenómeno disminuye la rata de agua de escorrentía, disminuyendo su poder erosivo, pero puede aumentar la rata de infiltración. La retención de agua en el follaje depende del tipo de vegetación, sus características y la intensidad de la lluvia.

Los árboles de mayor volumen o densidad de follaje, retrasan más el ciclo hidrológico en razón a que retienen por mayor tiempo las gotas de lluvia.

En el caso de las lluvias muy intensas la retención de agua es mínima, pero en el caso de lluvias moderadas a ligeras, la retención puede ser hasta de un 30%, dependiendo de las

características de la vegetación. Rice y Krames (1970), sugirieron que el clima determina el efecto relativo de la vegetación para prevenir deslizamientos en los climas en los cuales la precipitación es muy grande, el efecto de la cobertura vegetal sobre la estabilidad es mínimo y en áreas de clima árido la cobertura vegetal puede afectar en forma significativa la ocurrencia de deslizamientos.

2.2.1.3. Evapotranspiración. Las raíces absorben humedad del suelo, la cual es transmitida a la atmósfera por evapotranspiración. La evapotranspiración incluye el efecto combinado de evaporación de la humedad de la corteza terrestre por extracción, a través de las raíces y la transpiración por el follaje.

Su efecto es una disminución de la humedad en el suelo. Cada tipo de vegetación en un determinado tipo de suelo, tiene un determinado potencial de evapotranspiración y se obtiene generalmente, una humedad de equilibrio dependiendo de la disponibilidad de agua lluvia y nivel freático.

Greenway (1987) reporta que la capacidad de una planta para consumir humedad del suelo depende del tipo y tamaño de la especie, clima, factores ambientales y características del suelo.

Schiechtl (1980) estima capacidades de evapotranspiración hasta de un metro cúbico por metro cuadrado por año, en bosques primarios en Europa, y Greenway (1987) reporta evapotranspiraciones de más de 100 milímetros por mes, en Hong Kong.

En climas tropicales los volúmenes de evapotranspiración son generalmente, mayores que en zonas con estaciones, debido a que la temperatura ayuda en el proceso de evapotranspiración.

La evapotranspiración profundiza los niveles de aguas freáticas y al mismo tiempo puede producir asentamientos de suelos arcillosos blandos y agrietamientos por desecación.

El área de influencia depende de la extensión y profundidad del sistema radicular. Durante un día soleado un eucalipto puede extraer del suelo hasta 500 litros de agua y un pasto hasta un litro por metro cuadrado. Los árboles espaciados cercanamente y las hierbas extraen más agua que los pastos.

La clave desde el punto de vista de ingeniería es determinar la humedad máxima y el nivel freático crítico para un talud determinado, teniendo en cuenta el efecto de la vegetación.

El balance de la infiltración y la evapotranspiración produce una determinada humedad, la cual debe compararse con la humedad requerida para saturación. Debe tenerse en cuenta que, en un suelo al saturarse, se disminuyen las fuerzas de succión o presiones negativas de agua de poros, las cuales ayudan a la estabilidad. En ocasiones la vegetación produce un efecto de mantener la humedad por debajo del límite de saturación, mejorando la estabilidad de las laderas.

El efecto de evapotranspiración de la vegetación puede expresarse por medio de la relación:

$$R_e = E_t/E_o$$

Donde:

E_t =Rata de evapotranspiración de la vegetación

E_o =Rata de evapotranspiración de la vegetación

Generalmente la evapotranspiración real es muy inferior a la teórica, debido a que comúnmente la disponibilidad de agua en el suelo para evapotranspiración es inferior a la capacidad de las plantas.

2.2.1.4 Acumulación de agua. El agua acumulada en el follaje retrasa el flujo y disminuye el potencial de avenidas torrenciales. La cantidad de lluvia acumulada por la vegetación depende especialmente de la densidad interna del follaje medida por el total de área de hojas por área

nominal (Tabla 1). Generalmente el volumen de agua acumulada llega a un máximo y a partir de ese momento el follaje no tiene capacidad para acumular más agua. En lluvias intensas el porcentaje acumulado es relativamente pequeño comparado con el volumen total de la lluvia, pero en lluvias cortas de poca intensidad este porcentaje puede ser alto.

Figura 1.

Volumen promedio de agua acumulada para diferentes especies vegetales

Especie vegetal	Altura de lluvia acumulada (mm)
Pastos bajos	1
Pastos altos	2
Bosques tropicales	2.5
Bosques poco densos	0.5
Bosque de coníferas	1
Caña de azúcar	0.6
Maíz	0.8
Tabaco	1.8

Nota. Adaptado de Styczen y Morgan, 1995) Fuente: Control de erosión en zonas tropicales

2.2.1.5 Drenaje por el follaje. Parcialmente la lluvia interceptada es transportada hasta el suelo por el follaje especialmente en los pastos de hoja ancha. El agua interceptada se transporta a lo largo de las hojas concentrándose en el pie de la planta. Para que este flujo ocurra se requiere que las hojas tengan una pendiente entre 30° y 70° situación muy común en los pastos de alturas medianas. Se deben esperar grandes caudales de drenaje por el follaje en las plantas con una arquitectura de follaje con hojas que parten directamente desde el pie de la planta. Este drenaje disminuye la energía de impacto de la lluvia sobre el suelo, disminuyendo la erosión. Las plantas altas y los pastos de hoja muy delgada tienen una menor capacidad de drenaje por el follaje.

2.2.1.6 Goteo por las hojas. Parte del agua lluvia interceptada por la vegetación cae nuevamente al suelo en forma de gotas desde las hojas. El agua se acumula parcialmente, se forman gotas de mayor tamaño y éstas caen en un esquema de lluvia debajo de las plantas, la cual puede durar un tiempo importante después de la lluvia. El tamaño de estas gotas varía entre 4 y 7 mm y es sensiblemente superior a la de una lluvia directa (0.5 a 5 mm). Al ser las gotas de mayor tamaño el impacto sobre el suelo es mayor y se pueden producir volúmenes importantes de erosión ocasionados por este goteo. La energía de las gotas depende de la altura de la vegetación y del tamaño de las gotas (Tabla 2), y el tamaño de la gota depende del tipo de especie vegetal, especialmente de las características de las hojas.

Figura 2.

Medida relativa de la energía de impacto del goteo de la vegetación

Altura de caída (m)	Tamaño de las gotas			
	4.5 mm	5.0 mm	5.5 mm	6.0 mm
	Energía relativa (kg ² /m ³ s)			
0.5	0.41	0.57	0.76	0.99
1.0	0.79	1.10	1.47	1.93
1.5	1.21	1.68	2.28	2.99
2.0	1.57	2.18	2.95	3.88
3.0	2.12	2.90	4.07	5.41
4.0	2.57	3.62	4.95	6.60
5.0	2.90	4.14	5.64	7.43
6.0	3.14	4.47	6.08	8.01
7.0	3.29	4.67	6.35	8.40
8.0	3.39	4.79	6.53	8.65
9.0	3.45	4.89	6.66	8.83
10.0	3.51	4.97	6.77	8.95
13.0	3.65	5.18	6.99	9.20
∞	3.84	5.40	7.29	9.53

Nota. Adaptado de Styczen y Morgan, 1995) Fuente: Control de erosión en zonas tropicales

Como se puede observar en la tabla 2 la energía de las gotas aumenta considerablemente al aumentar el diámetro de éstas y de igual forma al aumentar la altura de caída; especialmente cuando esta altura es mayor de 1.0 metro. Una cobertura vegetal muy alta sin una correspondiente cobertura superficial representa una amenaza importante de erosión. Un árbol de gran altura puede generar mayor erosión por impacto de gotas de lluvia que una lluvia que cae directamente sobre

el suelo sin ser interceptada por la vegetación. Para que una cobertura vegetal proteja eficientemente contra la erosión de las gotas de lluvia, se requiere que ésta sea de poca altura. Los árboles altos solos no protegen contra la erosión de las gotas de lluvia.

2.2.1.7 Aumento de la infiltración. Al disminuirse la velocidad del agua por acción de la vegetación se aumenta la retención del flujo y la infiltración. Cuando el agua de la lluvia alcanza el suelo y existe vegetación, las posibilidades de infiltración son mayores que cuando el suelo está desnudo. La materia orgánica, las raíces, las lombrices, las termitas y el alto nivel de actividad biológica que se presenta junto a las plantas ayuda a crear un sistema continuo de poros y por lo tanto una mayor conductividad, es ésta tal vez la principal forma de disminución de la escorrentía durante una lluvia por acción de la vegetación.

2.2.2 Efectos de refuerzo del suelo

- Las raíces y el follaje aíslan el suelo de las fuerzas de tracción directa ocasionadas por el flujo del agua de escorrentía.
- Las raíces refuerzan el suelo aumentando la resistencia al corte (Fricción y Cohesión) y la resistencia a las fuerzas de erosión.
- Las raíces (de árboles) anclan el suelo o estratos más profundos, creando fuerzas resistentes al deslizamiento.
- Entre el sistema de raíces de cada árbol y los contiguos se forman efectos de arco que ayudan en la estabilidad de la masa de suelo.

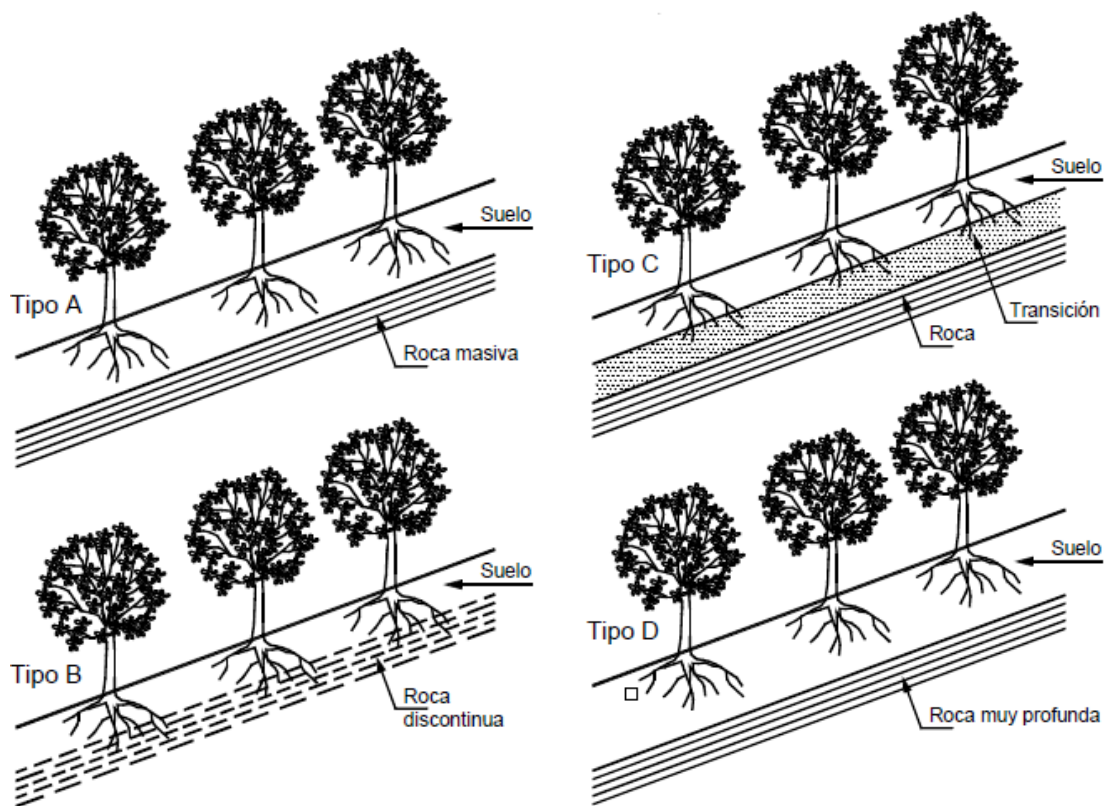
- Las raíces forman una red densa entretejida en los primeros 30 a 50 centímetros de suelo, y esta red forma una membrana lateral que tiende a reforzar la masa de suelo más superficial y sostenerla en el sitio.

- Sistemas de anclaje por las raíces:

Tsukamoto y Kusakabe (1984), presentaron una clasificación de refuerzo de taludes con las raíces de los árboles (Figura 1 y Tabla 3).

Figura 3.

Tipos de anclaje de las raíces



Nota. Tomado de: Tsukamoto y Kusakabe (1984). Fuente: Control de erosión en zonas tropicales

Figura 4.*Tipos de anclaje de las raíces*

Tipo	Descripción	Efecto estabilizante
A	Manto delgado de suelo sobre roca masiva no penetrable por las raíces	Muy pequeño
B	Manto delgado de suelo sobre roca discontinua o fracturada penetrable por las raíces	Grande
C	Manto delgado de suelo sobre zona de transición o saprolito	Grande
D	Manto muy grueso de suelo	Pequeño

Nota. Adaptado de Tsukamoto y Kusakabe, 1984). Fuente: Control de erosión en zonas tropicales

3. Metodología Aplicada

La metodología por utilizar se plantea y divide en 5 partes principales pensadas para el óptimo desarrollo de esta investigación.

- Se determinaron los factores más importantes para tener en cuenta para la clasificación de las especies para el control de erosión y estabilidad de taludes con raíces.
- Se buscaron las especies con los factores anteriormente mencionados.
- Se determinó su precio en el mercado.
- Se obtuvieron sus ventajas y desventajas.
- Se realizó una tabla resumen con todos los datos anteriormente descritos.

4. Descripción de los factores utilizados para la descripción de las especies

En base a las especies encontradas se describe las características de cada especie, todo recopilado en una base de datos, según los siguientes criterios:

4.1 Uso principal de la especie

Según la metodología aplicada, se describe la especie según su uso:

4.1.1 Uso: control de erosión

La especie posee alguna de las siguientes características:

- Especies que tengan un denso y voluminoso follaje para la intercepción de las gotas de lluvia o para frenar la fricción del viento.
- Especies con raíces superficiales para frenar el flujo superficial
- Especies con un muy alto requisito hídrico para controlar la humedad del suelo.
- Especies que soporten condiciones extremas de clima.
- Especies que tengan bajas exigencias de suelo.

4.1.2 Uso: estabilidad de taludes con raíces

La especie posee alguna de las siguientes características:

- Especies que posean una raíz pivotante gruesa y profunda.
- Especies que posean un sistema radial extenso y profundo.

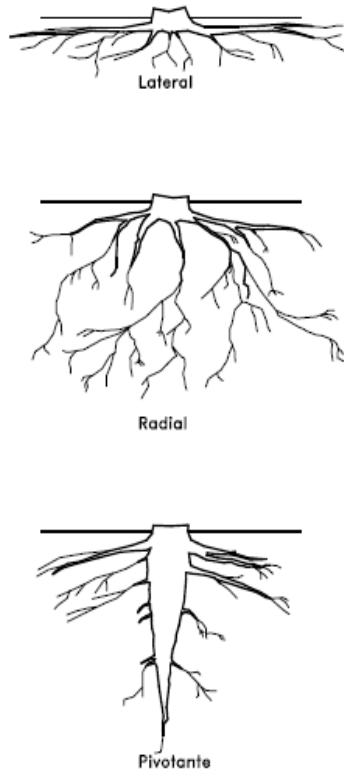
4.2 Características de las raíces

Se describe el sistema radicular que posee cada especie, existen tres tipos de estructura para la raíz de una especie vegetal, estas son:

- Raíces de extensión lateral.
- Raíces de extensión radial.
- Raíces pivotantes.

Figura 5.

Estructura de las raíces.



Nota.: Control de erosión en zonas tropicales.

4.3 Hábitat

Se describen las características del hábitat para que la especie pueda sobrevivir de manera óptima, así:

4.3.1 Precipitación anual

Es la cantidad de agua lluvia mínima anual que requiere una especie para sobrevivir.

4.3.2 Requisitos de luz

La cantidad de luz solar que una especie requiere para sobrevivir está determinada por la

Tabla 1.:

Figura 6.

Requisitos de luz.

Requisitos de luz	Descripción
Alta	Requiere luz permanente
Moderado	Tolera sombra de forma intermitente, al menos 1/2 del día debe obtener luz
Bajo	Requiere sombra durante el día o puede durar varios días sin luz solar

Nota: Adaptado de “Slope Stabilization and erosion control using vegetation”

4.3.3 Requisitos de suelo

Tipo de suelo necesario para el desarrollo de la especie.

4.4 Características físicas

Se describen las características físicas de la especie en cuestión, así:

4.4.1 Forma

Se describe la forma de la especie vegetal así:

- **Árbol:** Planta de tronco leñoso, grueso y elevado que se ramifica a cierta altura del suelo formando la copa.
- **Arbusto:** Árbol pequeño
- **Pasto:** Gramíneas que crecen formando una cubierta densa y verde.

4.4.2 Clima

Según la temperatura y altitud que una especie soporta, se le otorgó un piso termino según la clasificación de Caldas (Tabla 2), así:

Figura 7.

Clasificación de temperatura de Caldas,

PISO TÉRMICO	RANGO ELEVACIÓN	RANGO TEMPERATURAS
CALIDO	0 a 800	T>=24°C
TEMPLADO	800 a 1800	24°C>T>18°C
FRIO	1800 a 2800	18°C>T>12°C
MUY FRIO	2800 a 3700	12°C>T>6°C
EXTREMADAMENTE FRIO	3700 a 4700	6°C>T>0°C
NIVAL	>4700	T< 0°C

Nota. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

4.5. Precio en el mercado colombiano.

El precio se obtuvo a partir de viveros y empresas del sector agrícola y ganadero detallados a continuación.

4.5.1 Viveros

Según la metodología aplicada los viveros de los cuales se consultaron y se obtuvo información de al menos una especie de las 50 especies fueron:

- Vivero El Palmar, Floridablanca.
- Casa ambiente S.A.S., Floridablanca.
- Vivero Follajes de Santander, Km 3.7, Vía, Piedecuesta.
- Vivero Brisas, Piedecuesta.
- Vivero Flor del Campo, Piedecuesta.
- Vivero la Española, Km 6, vereda La mata, Piedecuesta.
- Vivero Flor de Verano, Bucaramanga.
- Vivero Divino Niño, Bucaramanga.
- Vivero los trifoliados, Vía Barrancabermeja - Bucaramanga, Lebrija.
- Vivero en Lebrija - Vivero Monteverde, 400 Metros Saliendo de Lebrija vía a, Barrancabermeja, Lebrija.
- Vivero la palma, Vía Campo 14, El Cerrito, Barrancabermeja.
- Viveros Ramírez, San Vicente de Chucurí.
- Eco Yuma S.A.S., Altamira - Carmen De Chucurí, El Carmen de Chucurí.
- Vivero La Autopista, La parcela, km 3.4 Piedecuesta, Vía, Floridablanca.

4.5.2 Empresas del sector agrícola y ganadero

Según la metodología aplicada las empresas del sector agrícola y ganadero de las cuales se consultaron al menos una especie de las 50 especies fueron:

- Agropaisa – Almacén Lebrija.
- Agropaisa – Almacén Principal, Bucaramanga.
- Agropaisa – Almacén Piedecuesta
- Representaciones ganaderas LTDA., Bucaramanga.

4.6 Ventajas y desventajas

Características generales de las especies:

- Rapidez de establecimiento
- Potencial de invasión
- Tolerancia a las sequias
- Tolerancia a la inundación
- Tolerancia al viento
- Tolerancia a las quemas
- Tolerancia al pisoteo
- Disponibilidad comercial

5. Análisis e interpretación de resultados

A continuación, se van a describir tres especies vegetales, dos de ellas según los dos usos principales de este artículo:

- Uso para control de erosión
- Uso para estabilidad de taludes con raíces

Y una tercera especie la cual es usada en ambos casos.

5.1 Especie usada para control de erosión:

La especie seleccionada para este uso es: *El Hayuelo (Dodonaea viscosa)*

- Nombre común: Hayuelo
- Nombre técnico: *Dodonaea viscosa*
- Uso: Control de erosión.
- Características de las raíces: Raíces pocas profundas y superficiales.
- Requisitos de agua (Precipitación anual): 1.000 - 1.400 mm
- Requisitos de luz: Alto
- Requisitos de suelo: Prospera en cualquier suelo bien drenado.
- Forma: Arbusto
- Clima: Frío
- Altura máxima: Hasta 7 m
- Mercado: árbol de 50 cm a \$2.500

- Ventajas: Se utiliza como barrera rompevientos, soporta la sequía y heladas
- Desventajas: Su crecimiento inicial es lento.

5.2 Especie usada para estabilidad de taludes con raíces:

La especie seleccionada para este uso es: *El Guaje (Leucaena leucocephala)*

- Nombre común: Guaje
- Nombre técnico: *Leucaena leucocephala*
- Uso: Estabilidad de taludes con raíces.
- Características de las raíces: Raíz principal pivotante gruesa y profunda
- Requisitos de agua (Precipitación anual): 450 - 2.200 mm
- Requisitos de luz: Alto
- Requisitos de suelo: Se adapta a cualquier tipo de suelo bien drenado.
- Forma: Árbol
- Clima: Cálido – Templado
- Altura máxima: Hasta 15 m
- Mercado: Árbol de 60 cm a \$4.000
- Ventajas: Se utiliza como barrera rompevientos, buena para estabilidad, barrera contra incendios
- Desventajas: No resiste heladas, intolerante a inundaciones.

5.3 Especie usada para control de erosión y estabilidad de taludes con raíces

La especie seleccionada para este uso es: *La Casuarina (Casuarina equisetifolia)*

- Nombre común: Casuarina
- Nombre técnico: Casuarina equisetifolia
- Uso: Control de erosión y estabilidad de taludes con raíces.
- Características de las raíces: Raíz principal pivotante gruesa y profunda.
- Requisitos de agua (Precipitación anual): 200 - 2.690mm
- Requisitos de luz: Alto
- Requisitos de suelo: Crece mejor en suelos porosos con buen drenaje y con una humedad

y provisión de nutrientes adecuadas.

- Forma: Árbol.
- Clima: Cálido - Templado
- Altura máxima: Hasta 45 m
- Mercado: Árbol de 60 cm a \$8.000
- Ventajas: Crece en suelo contaminado con Diesel, se utiliza como barrera rompevientos.
- Desventajas: No soporta pendientes de más de 50°, no soporta inundaciones.

Las 47 especies restantes están descritas en la sección Anexos.

6. Conclusiones

- El papel de la cobertura vegetal es ser un agente regulador en los fenómenos erosivos, suministra un soporte mecánico a nivel subterráneo y brinda una protección superficial. Un suelo con cobertura vegetal es menos vulnerable a la erosión a comparación de un suelo sin ella.
- La erosión es un proceso inminente y la vegetación es una de las mejores herramientas para proteger el suelo de este fenómeno, la vegetación es polivalente y económica, por lo tanto, debe ser usada como material de ingeniería.
- Se evidenció la falta de conocimientos técnicos y la carencia de la divulgación sobre la información disponible respecto a la vegetación en Colombia, la información recolectada se sintetizó en una base de datos como un primer paso para corregir este vacío desde un enfoque de la ingeniería civil.

7. Recomendaciones

- Se debe resaltar que la vegetación es un elemento *vivo*, por lo tanto, la información brindada puede llegar a variar si los recursos disponibles varían como las condiciones ambientales, sociales y culturales.

- Al combinar vegetación con estructuras de concreto se debe tener una opinión profesional de ambas partes, en algunos casos la vegetación puede convertirse en un enemigo para estas estructuras.

- Todos los árboles y arbustos son especialmente vulnerables en sus primeros meses de vida, no soportan condiciones extremas, por lo tanto, para usarse dentro de la ingeniería civil, es recomendable usar retoños de al menos 3 meses de vida.

Referencias Bibliográficas

Alvarado García, V. (2016). La vegetación como factor de control de la erosión,

Alvarado García, V.; Zúñiga Amador, M. A. (2018) Vegetación nativa como factor de control de erosión y restauración ecológica, San José, Costa Rica,

Corporación autónoma regional de Cundinamarca. (2012). Vegetación del territorio CAR, 450 especies de sus llanuras y montañas, Segunda Edición,

León Peláez, J. D. (s.f.) Estudio y control de la erosión hídrica, Recuperado de. <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=c6e81db3-e4fb-4e9d-ad18-ae6414e3eba%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=unc.000262072&db=cat02704a>

Slope stabilization and erosion control using vegetation, A manual of practice for coastal property owners

Suárez, J. (1998) Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales,

Suárez, J. (2001) Control de erosión en zonas tropicales,

Tang, A.M., et al (23 de marzo de 2018) Atmosphere–vegetation–soil interactions in a climate change context; impact of changing conditions on engineered transport infrastructure slopes in Europe. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 51, 156-168, <https://doi.org/10.1144/qjegh2017-103> Recuperado de: Recuperado de. <https://qjegh.lyellcollection.org/content/51/2/156>

Tayupanta J., J. R. (1993) La erosión hídrica: Proceso, factores y formas, Recuperado de. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=a7EzAQAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA8&dq=Que+es+la+erosion&ots=2wVTxyXmdP&sig=NfM6XQz567NEBy7k7xu0TPyfymA#v=onepage&q=Que%20es%20la%20erosion&f=false>

Valiente Sanz, R.; Sobrecases Martí, S.; Díaz Orrego, A. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo, Recuperado de. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/76781/taludes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Valladares, F. (2004). Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante, Recuperado de. <https://core.ac.uk/download/pdf/36058496.pdf>

Apéndices

Apéndice A. Base de datos de las especies recolectadas

Nombre común	Nombre técnico	Uso principal	Características de las raíces	Requisitos de agua (Pp anual mm)	Requisito de luz	Requisitos de suelo
Acacia negra	Acacia decurrens	Control de erosión	Raíces radiales poco profundas, superficiales y gruesas.	600 - 2.800	Alto	Crece bien en suelos que presenten buen drenaje
Alfalfa o Carreton	Medicago sativa	Control de erosión	Raíces radiales profundas y delgadas (Hasta 5 m)	400 - 1.400	Alto	Requiere suelos profundos y bien drenados
Aliso	Alnus acuminata	Control de erosión	Sistema radial poco profundo, amplio y extendido	1.000 - 3.000	Alto	Suelos ácidos con buen drenaje, de textura franco o franco arcillosos
Angletón	Dicahnthium Aristatum	Control de erosión	Raíces profundas y tallos finos	600 - 2.800	Media	Se puede establecer en suelos francos y fértiles, de mediana fertilidad bien drenados
Arrayan	Myrcianthes leucoxylla	Control de erosión	Sistema radiales superficiales y gruesas	700 - 1.500	Alto	Crece en mayores concentraciones sobre suelos bien húmedos y con alta cantidad de materia orgánica.
Balso	Ochroma pyramidale	Estabilidad de taludes con raíces	Raíz principal pivotante gruesa y profunda	1.300 Aproximadamente	Alto	Coloniza suelos arcillosos y limosos, e incluso el relleno de construcción recientemente depositado, pero no tolera los suelos de alta salinidad
Búcaro / Anaco	Erythrina fusca	Control de erosión	Raíces poco profundas gruesas y superficiales	800 - 3.000	Alto	Crece en suelo de fertilidad media, soporta suelos encharcados y tolera suelos infértiles
Caracolí	Anacardium excelsum	Control de erosión	Raíces superficiales, gruesas y extendidas	500 - 4.500	Media	Prefiere suelos profundos y bien drenados
Casuarina	Casuarina equisetifolia	Estabilidad de taludes con raíces y Control de erosión	Raíz principal pivotante gruesa y profunda	200 - 2.690	Alto	Crece mejor en suelos porosos con buen drenaje y con una humedad y provisión de nutrientes adecuadas
Caucho Sabanero	Ficus soatensis	Estabilidad de taludes con raíces y Control de erosión	Raíz principal pivotante gruesa y profunda	1.000 - 2.001	Alto	Prefiere suelos poco profundos, bien drenados y requiere de suelos franco arenosos a arcillosos.

Nombre C.	Forma	Clima	Altura máxima	Mercado [Pesos Colombianos]	Ventajas	Desventajas
Acacia negra	Árbol	Templado	Hasta 15 m	Árbol de 14-16cm a \$50.000	Resiste heladas y sequías, se utiliza como barrera rompevientos.	Información no disponible
Alfalfa o Carreton	Pasto	Frío-Templado	Hasta 1 m	Semillas 1 lb a \$28.000	Resiste temperaturas muy altas y muy bajas, resiste sequías.	Es una especie invasiva
Aliso	Árbol	Templado	Hasta 25 m	Árbol de 40 cm a \$2.500	Se utiliza como barrera rompevientos, resiste heladas, especie nativa	Es muy sensible a sequías y suelos pantanosos.
Angletón	Pasto	Cálido - Templado	Hasta 1.2 m	Semillas 10 Kg a \$100.000	Tolera sequías prolongadas, periodo húmedos, pisoteo	Especie invasiva, no resiste sequías
Arrayan	Árbol	Frío - Muy frío	Hasta 16 m	Árbol de 40 - 50 cm a \$3.000	Se utiliza como barrera rompevientos, buena para estabilidad, especie nativa.	Información no disponible
Balso	Árbol	Cálido	Hasta 30 m	Árbol de 50 cm a \$10.000	Se desarrolla bien en suelo que han sido quemados, se utiliza como barrera rompevientos, especie nativa	No soporta inundaciones
Búcaro / Anaco	Árbol	Templado	Hasta 15 m	Árbol de 50 - 60 cm a \$8.000	Sirve como barrera rompevientos, se da en suelos de alta humedad y es fácil de cultivar, especie nativa.	No soporta fuertes vientos en las primeras etapas de crecimiento
Caracolí	Árbol	Cálido	Hasta 45 m	Árbol de 70 cm a \$12.000	Tolera inundaciones periódicas y niveles freáticos altos, se utiliza como barrera rompevientos, especie nativa.	El fuego la hace arder muy fácilmente, no soporta suelos arcillosos, fuertemente alcalinos ni calizos.
Casuarina	Árbol	Calido - Templado	Hasta 45 m	Árbol de 60 cm a \$8.000	Crece en suelo contaminado con Diesel, se utiliza como barrera rompevientos.	No soporta pendientes de más de 50°, no soporta inundaciones
Caucho Sabanero	Árbol	Frío	Hasta 20 m	Información no disponible	Se utiliza como barrera rompevientos, buena para estabilidad, resiste heladas y sequías.	Información no disponible

Nombre común	Nombre técnico	Uso principal	Características de las raíces	Requisitos de agua (Pp anual mm)	Requisito de luz	Requisitos de suelo
Cedro	Cedrela montana	Control de erosión	Raíces superficiales gruesas y poco profundas	500 - 2.000	Alto	Suelos húmedos a secos, sueltos, bien drenados, de textura franco a franco arenosa.
Chachafuto	Erythrina edulis	Control de erosión	Información no disponible	1.000 - 2.300	Alto	Prefiere suelo sueltos, textura franco-arenosa y fertilidad moderada.
Chicalá	Tecoma Stans	Estabilidad de taludes con raíces	Raíz principal pivotante gruesa y profunda	1.000 - 2.000	Alto	Prefiere suelos profundos, bien drenados y texturas francas
Chocho de árbol	Erythrina rubrinervia	Control de erosión	Raíces superficiales	2.000 Aproximadamente	Alto	Prefiere suelos arcillosos
Ciprés	Cupressus lusitanica	Estabilidad de taludes con raíces	Raíz principal pivotante gruesa y profunda	1.000 - 3.000	Alto	Prefiere suelos de origen volcánico, húmedos, profundos y bien drenados, franco arcillosos a franco arenosos
Ciro	Baccharis macrantha	Control de erosión	Raíces superficiales	500 - 2.000	Alto	Soporta suelos pobres, poco profundos y erosionados, crece incluso en suelos duros y arcillosos
Colorado o Siete cueros	Tibouchina lepidota	Estabilidad de taludes con raíces	Raíz principal pivotante gruesa y profunda	1.000 - 2.000	Alto	Suelos superficiales y franco-arcillosos.
Dividivi	Caesalpinia spinosa	Control de erosión	Raíces superficiales	230 - 500	Alto	Prefiere suelos pobres y ligeramente erosionados
Elefante	Pennisetum purpureum	Control de erosión	Sistema radial poco profundo y grueso	1.500 - 4.500	Alto	Se puede establecer en suelos de fertilidad media alta o que sean ricos en materia orgánica
Encenillo	Weinmannia tomentosa	Control de erosión	Información no disponible	500 - 4.000	Alto	Prefiere suelos medianamente profundos, bien drenados, húmedos y francos.

Nombre C.	Forma	Clima	Altura máxima	Mercado [Pesos Colombianos]	Ventajas	Desventajas
Cedro	Árbol	Frío	Hasta 35 m	Árbol de 40 - 50 cm a \$3.000	Se utiliza como barrera rompevientos, buena para estabilidad, especie nativa.	Su crecimiento se ve afectado en suelos de baja fertilidad, susceptible a suelos encharcados
Chachafruto	Árbol	Templado	Hasta 14 m	Árbol de 60 cm a \$15.000	Se usa para recuperar fuentes hidrográficas, también como barrera rompevientos.	No soporta sequías
Chicalá	Árbol	Frío	Hasta 8 m	Árbol de 60 - 70 cm a \$10.000	Se utiliza como barrera rompevientos, buena para estabilidad, resiste sequías, especie nativa.	Información no disponible
Chocho de árbol	Árbol	Frío-Templado	Hasta 10 m	Árbol de 14-16cm a \$5.000	Es fijador de nitrógeno, especie nativa	Información no disponible
Ciprés	Árbol	Frío-Templado	Hasta 30 m	Árbol de 40 - 60 cm a \$6.000	Se utiliza como barrera rompevientos, resiste heladas	No soporta sequías, no crece en suelos pobres
Ciro	Arbusto	Frío	Hasta 5 m	Árbol de 50 - 60 cm a \$5.000	Soporta sequías, especie nativa	Información no disponible
Colorado o Siete cueros	Árbol	Frío	Hasta 8 m	Árbol de 40 - 50 cm a \$12.000	Se utiliza como barrera rompevientos, buena para estabilidad, regulador climático y de temperatura, especie nativa.	Especie con mortalidad muy alta en sus primeros meses, incluso en viveros.
Dividivi	Árbol	Frío	Hasta 15 m	Árbol de 40 cm a \$10.000	Soporta sequías, especie nativa	Información no disponible
Elefante	Pasto	Templado	Hasta 4 m	Semillas 25 kg a \$100.000	Tolera el pisoteo	Especie invasora, no resiste sequías y muy susceptible a los insectos
Encenillo	Árbol	Muy frío	Hasta 25 m	Árbol de 50 cm a \$2.500	Se utiliza como barrera rompevientos, regulador climático y de temperatura, especie nativa.	Información no disponible

Nombre común	Nombre técnico	Uso principal	Características de las raíces	Requisitos de agua (Pp anual mm)	Requisito de luz	Requisitos de suelo
Eucalipto	Eucalyptus globulus	Control de erosión	Raíces poco profundas gruesas y superficiales	750 - 1.250	Alto	Requiere de un buen drenaje, baja salinidad y de un suelo con una profundidad de aproximadamente 0.6 m o más.
Gomo	Cordia dentata	Control de erosión	Raíces superficiales	2.000 - 4.000	Alto	Soporta suelos arcillosos
Guacimo	Guazuma ulmifolia	Control de erosión	Raíces poco profundas gruesas y superficiales	700 - 1.500	Alto	Se da en suelos de texturas livianas y pesadas, con buen drenaje, no pedregosos.
Guaje / Leucaena	Leucaena leucocephala	Estabilidad de taludes con raíces	Raíz principal pivotante gruesa y profunda	450 - 2.200	Alto	Se adapta a cualquier tipo de suelo bien drenado
Gualanday	Jacaranda caucana	Control de erosión	Raíces poco profundas gruesas y superficiales	1.000 - 2.500	Alto	Prefiere suelos profundos, bien drenados
Guayacán Rosado	Tabebuia Rosea	Control de erosión	Sistema radial profundo	1.100 - 3.000	Alto	Logra su mejor desarrollo en suelos con texturas francas a franco - arcillosas
Hayuelo	Dodonaea viscosa	Control de erosión	Raíces pocas profundas y superficiales	1.000 - 1.400	Alto	Prospera en cualquier suelo bien drenado
Iguá / Naumo	Pithecellobium guachapele	Control de erosión	Raíces superficiales	1.000 - 3.000	Alto	Prefiere suelos profundos, bien drenados, de fertilidad media a alta.
Kikuyo	Pennisetum clandestinum	Control de erosión	Raíces profundas y delgadas (Hasta 5 m)	800 - 2.800	Alto	Requiere suelos bien o moderadamente drenados
Laurel de cera	Morella pubescens	Estabilidad de taludes con raíces	Raíces profundas, abundantes y delgadas	750 - 1.600	Alto	Se adapta a cualquier tipo de suelo

Nombre C.	Forma	Clima	Altura máxima	Mercado [Pesos Colombianos]	Ventajas	Desventajas
Eucalipto	Árbol	Muy frío - Templado	Hasta 50 m	Árbol de 50cm a \$15.000	Se utiliza como barrera rompevientos, por sus grandes requisitos de agua puede secar pantanos.	Es una especie invasiva
Gomo	Árbol	Cálido	Hasta 15 m	Árbol de 50 - 60 cm a \$7.000	Soporta sequías, especie nativa	No tolera inundaciones ni fuego
Guacimo	Árbol	Cálido	Hasta 15 m	Árbol de 40 - 60 cm a \$5.000	Resiste el fuego, se utiliza como barrera rompevientos, especie nativa.	No prospera en suelos compactados y muy compactados
Guaje / Leucaena	Árbol	Cálido - Templado	Hasta 10 m	Árbol de 60 cm a \$4.000	Se utiliza como barrera rompevientos, buena para estabilidad, barrera contra incendios, especie nativa.	No resiste heladas, intolerante a inundaciones.
Gualanday	Árbol	Calido - Templado	Hasta 20 m	Árbol de 40 - 50 cm a \$8.000	Se utiliza como barrera rompevientos, tolera sitios húmedos y temporalmente inundados, especie nativa.	Información no disponible
Guayacán Rosado	Árbol	Cálido	Hasta 40 m	Árbol de 70 cm a \$14.000	Se utiliza como barrera rompevientos, resiste el fuego y suelos con mal drenaje, especie nativa.	Información no disponible
Hayuelo	Arbusto	Frío	Hasta 7m	Árbol de 50 cm a \$2.500	Se utiliza como barrera rompevientos, soporta la sequía y heladas, especie nativa.	Su crecimiento inicial es lento.
Iguá / Naumo	Árbol	Cálido - Templado	Hasta 25 m	Árbol de 60 cm a \$12.000	Es fijador de nitrógeno, especie nativa, se utiliza como barrera rompevientos	No tolera heladas, es muy sensible a los vientos fuertes en su etapa de crecimiento
Kikuyo	Pasto	Frío	Hasta 60 cm	Semillas 2Kg a \$7000	Soporta sequías y pisoteo	Es una especie invasiva, no se adapta a suelos pobres, es susceptible a heladas.
Laurel de cera	Árbol	Frío	Hasta 16 m	Árbol de 40 - 50 cm a \$3.000	Especie usada para protección de nacimientos de agua.	No tolera sequías prolongadas y la alta contaminación.

Nombre común	Nombre técnico	Uso principal	Características de las raíces	Requisitos de agua (Pp anual mm)	Requisito de luz	Requisitos de suelo
Maní Forrajero	Arachis pintoi	Control de erosión	Llega hasta 30cm de profundidad, delgada.	1.200 - 3.000	Bajo	Se adapta a suelos de fertilidad media-baja
Maralfalfa	Pennisetum violaceum	Control de erosión	Sistema radial poco profundo	1.000 - 4.000	Moderado	Se adapta a suelos de fertilidad media
Mata-ratón	Gliricidia sepium	Estabilidad de taludes con raíces	Raíz principal pivotante gruesa y profunda	500 - 2.300	Alto	Tolera una gran variedad de suelos, menos aquellos que tengan deficiencias serias de drenaje interno
Melina	Gmelina-Arbórea	Control de erosión	Sistema radical profundo	1.000 - 4.500	Alto	Prefiere suelos profundos, húmedos y bien drenados, fértiles de los valles aluviales franco o franco arcillosos.
Mora	Maclura tinctoria	Control de erosión	Raíces superficiales	50 - 1.500	Alto	Tolera suelos poco profundos y prospera en suelos pobres
Mortiño	Hesperomeles goudotiana	Control de erosión	Raíces superficiales y gruesas	1.200	Alto	Suelos francos a pesados en pendientes moderadas
Nacedera o Aro	Trichanthera gigantea	Estabilidad de taludes con raíces	Raíces profundas y robustas	1.400 - 2.800	Alto	Crece en suelos profundos, aireados, de buen drenaje y baja fertilidad
Pasto estrella	Cynodon nlemfuensis	Control de erosión	Sistema radial profundo	800 - 2.800	Alto	Se adapta a cualquier tipo de suelo
Pino	Podocarpus oleifolius	Control de erosión	Raíces poco profundas y superficiales	1.000 - 2.000	Alto	No crece bien en suelos arcillosos
Pino oocarpa	Pinus oocarpa	Estabilidad de taludes con raíces	Raíz principal pivotante gruesa y profunda	600 - 2.400	Alto	Crece en suelos muy diversos, desde arenosos, francos hasta arcillosos, pobres, bien drenados y aun sobre suelos erodados y superficiales

Nombre C.	Forma	Clima	Altura máxima	Mercado [Pesos Colombianos]	Ventajas	Desventajas
Mani Forrajero	Pasto	Frío-Templado	Hasta 40 cm	Bulto de 15 Kg a \$40.000	Especie invasora, aguanta sequías de hasta 3 meses, soporta pisoteo	Especie invasiva
Maralfalfa	Pasto	Frío-Templado	Hasta 2 m	Información no disponible	Aguanta sequías y pisoteo	No soporta encharcamiento
Mata-ratón	Árbol	Cálido - Templado	Hasta 20 m	Árbol de 50 cm a \$5.000	Aguanta sequías de hasta 5 meses, se utiliza como barrera rompevientos, resiste el fuego, especie nativa.	No soporta heladas, ni suelos con inundaciones periódicas
Melina	Árbol	Cálido	Hasta 30 m	Árbol de 50 - 70 cm a \$15.000	Se utiliza como barrera rompevientos, resiste sequías y fuego	Presenta problemas de crecimiento en cualquier suelo que no sea de su preferencia
Mora	Árbol	Cálido - Templado	Hasta 25 m	Árbol de 40 - 50 cm a \$4.000	Soporta sequías, especie nativa	Su uso principal es ornamental y alimenticio
Mortiño	Arbusto	Muy frío	Hasta 7 m	Árbol de 50 cm a \$2.500	Se utiliza como barrera rompevientos y como protección de nacimientos de agua, resiste heladas, especie nativa	Información no disponible
Nacedera o Aro	Árbol	Cálido - Templado	Hasta 12 m	Árbol de 60 cm a \$4.000	Se utiliza como protección de nacimientos de agua, especie nativa.	Información no disponible
Pasto estrella	Pasto	Cálido - Templado	Hasta 50 cm	Semillas 5 Kg a \$25.000	Se utiliza en taludes hechos en carreteras, resiste pisoteo.	No soporta encharcamiento, especie invasiva.
Pino	Árbol	Frío - Muy frío	Hasta 40 m	Árbol de 5 m a \$800.000	Se utiliza como barrera rompevientos, crece hasta en pendientes de más del 50%, especie nativa	Especie vulnerable debido a la deforestación, crecimiento lento
Pino oocarpa	Árbol	Frío-Templado	Hasta 45 m	Árbol de 60 - 80 cm a \$8.000	Resiste la sequía, especie nativa	Susceptible a las heladas y al fuego

Nombre común	Nombre técnico	Uso principal	Características de las raíces	Requisitos de agua (Pp anual mm)	Requisito de luz	Requisitos de suelo
Pino Pátula	Pinus patula	Estabilidad de taludes con raíces y Control de erosión	Sistema radical robusto amplio y profundo	750 - 2.800	Alto	Prefiere suelos profundos, húmedos, fértiles, bien drenados.
Pino vela	Cupressus sempervirens	Estabilidad de taludes con raíces	Raíz principal pivotante gruesa y profunda	1.000 - 2.000	Alto	Se adapta a cualquier tipo de suelo
Raygras Perenne	Lolium Perenne	Control de erosión	Sistema radial poco profundo	900 - 2.500	Alto	Se puede establecer en suelos pesados, fértiles y húmedos
Roble	Quercus humboldtii	Control de erosión	Raíces superficiales	1.500 - 2.500	Media	Se adapta a cualquier tipo de suelo humedo
Sauce	Salix humboldtiana	Control de erosión	Sistema radical superficial y extendido	800 - 3.300	Alto	Prefiere suelos húmedos, de textura arenosa
Teca	Tectonagrandis	Control de erosión	Sistema radial poco profundo y extendido	1.270 - 3.800	Alto	Prefiere suelos profundos, fértiles y bien drenados.
Trebol rojo	Trifolium pratense	Control de erosión	Sistema radial poco profundo	700	Moderado	Se adapta a cualquier tipo de suelo
Urapán	Fraxinus chinensis	Control de erosión	Raíces poco profundas gruesas y superficiales	1.000 - 3.000	Alto	Prrefiere suelos profundos, con buen drenaje fértiles y de textura franco arcillosa
Uva de anís	Cavendishia cordifolia	Control de erosión	Sistema radial poco profundo	1.500 Aproximadamente	Alto	Soporta suelos ácidos y poco profundos, puede crecer sobre rocas huecas con material orgánico
Vetiver	Chrysopogon zizanioides	Control de erosión	Llega hasta 5m de profundidad, delgada	300 - 5.000	Moderado	Se adapta a cualquier tipo de suelo

Nombre C.	Forma	Clima	Altura máxima	Mercado [Pesos Colombianos]	Ventajas	Desventajas
Pino Pátula	Árbol	Frío - Muy frío	Hasta 30 m	Árbol de 30 - 40 cm a \$15.000	Resiste la sequía y heladas	Susceptible al fuego
Pino vela	Árbol	Cálido	Hasta 30 m	Árbol de 20 cm a \$20.000	Se utiliza como barrera rompevientos, resiste heladas y sequías, especie nativa	No tolera encharcamientos
Raygras Perenne	Pasto	Cálido - Templado	Hasta 60 cm	Información no disponible	Resiste pisoteo	No resiste sequías
Roble	Árbol	Frío-Templado	Hasta 25 m	Árbol de 1 m a \$20.000	Se utiliza como barrera rompevientos, resiste sequías, especie nativa	Información no disponible
Sauce	Árbol	Frío - Calido	Hasta 25 m	Árbol de 40 cm a \$15.000	Se utiliza como barrera rompevientos, no soporta heladas	Información no disponible
Teca	Árbol	Cálido - Templado	Hasta 20 m	No disponible en Santander	Es moderadamente resistente al fuego	Muy sensible a la sequía, y susceptible a las heladas
Trebol rojo	Trebol	Frío	Hasta 60 cm	Semillas 100g a \$10.000	Requiere cuidados en sus primeros meses de siembra y solo se encuentra a la venta por semillas	Información no disponible
Urapán	Árbol	Templado - Frío	Hasta 35 m	Información no disponible	Se utiliza como barrera rompevientos, resiste heladas y tolera sequías	Sensible al ozono.
Uva de anís	Arbusto	Frío - Muy frío	Hasta 7 m	Información no disponible	Especie nativa	Información no disponible
Vetiver	Pasto	Cualquiera	Hasta 2 m	Especie a la venta en bolsa a \$800 (40 Kg)	Previene derrumbes de tierra, es resistente a temperaturas de 50 °C, funciona como pesticida, resiste pisoteo	Información no disponible