

VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PASTO VETIVER PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN COLOMBIA PERÍODO I, AÑO 2014

**DIEGO ERNESTO ESCOBAR GONZÁLEZ
LEONEL ORDUÑA CAMACHO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ
2014**

**VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PASTO VETIVER PARA LA
ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN COLOMBIA PERÍODO I, AÑO 2014**

**DIEGO ERNESTO ESCOBAR GONZÁLEZ
LEONEL ORDUÑA CAMACHO**

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

**Director
Alejandra Rivera Basto**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADO
BOGOTÁ
2014**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

AGRADECIMIENTOS

Gracias a nuestros padres que nos brindaron su apoyo durante toda la carrera, a todos los profesores y nuestra tutora Alejandra Rivera por su gran aporte al trabajo.

**DIEGO ERNESTO ESCOBAR GONZÁLEZ
LEONEL ORDUÑA CAMACHO**

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	10
1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	11
2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
3 OBJETIVOS	13
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
4 ALCANCES Y LIMITACIONES	14
4.1 TEMÁTICA.....	14
4.2 GEOGRAFÍA.....	14
4.3 TEMPORAL	14
5 MARCO DE REFERENCIA	15
5.1 MARCO TEÓRICO.....	15
5.1.1 <i>Geografía Colombiana</i>	15
5.1.2 <i>Las Regiones Naturales</i>	15
5.1.2.1 <i>Región Amazónica</i>	15
5.1.2.2 <i>Región Andina</i>	15
5.1.2.3 <i>Región Caribe</i>	16
5.1.2.4 <i>Región Insular</i>	16
5.1.2.5 <i>Región Orinoquía</i>	16
5.1.2.6 <i>Región Pacífica</i>	16
5.1.3 <i>El Clima en Colombia</i>	16
5.1.4 <i>Geología</i>	18
5.1.5 <i>Fenómenos de Remoción en Masa</i>	19
5.1.6 <i>Clasificación de los Fenómenos de Remoción en Masa</i>	19
5.1.6.1 <i>Caídos o Derrumbes</i>	20
5.1.6.2 <i>Flujos</i>	21
5.1.6.3 <i>Deslizamientos</i>	22
5.1.6.4 <i>Reptación</i>	24
5.1.6.5 <i>Volcamientos</i>	24
5.1.7 <i>Erosión</i>	24
5.1.8 <i>Causas y Condiciones que Originan los Fenómenos de Remoción en Masa</i>	25
5.1.9 <i>Factores Condicionantes</i>	25
5.1.9.1 <i>Morfología y Topografía</i>	25
5.1.9.2 <i>Geología y Características de los Suelos Superficiales</i>	25
5.1.9.3 <i>Condiciones Hidrogeológicas</i>	26
5.1.9.4 <i>Vegetación</i>	26
5.1.10 <i>Factores Desencadenantes</i>	26
5.1.10.1 <i>Lluvias</i>	26
5.1.10.2 <i>Terremotos</i>	26
5.1.10.3 <i>Vulcanismo</i>	26

5.1.10.4	<i>Congelación y Deshielo.</i>	26
5.1.10.5	<i>Erosión y Socavación.</i>	26
5.1.10.6	<i>Actividad Humana.</i>	26
5.1.11	<i>Sistemas Implementados para la Estabilización de Taludes.</i>	27
5.1.12	<i>Sistemas de Estabilización.</i>	28
5.1.12.1	<i>Sistemas de Recubrimiento de Superficies.</i>	28
5.2	TIPOS DE EROSIÓN	33
5.2.1	<i>Erosión Hídrica en Cárcavas.</i>	33
5.2.2	<i>Erosión Hídrica de Barrancos en Laderas.</i>	34
5.2.3	<i>Erosión en Ríos.</i>	35
5.3	MARCO CONCEPTUAL	36
6	USO DEL PASTO VETIVER PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN OTROS PAISES	38
6.1	TAILANDIA	39
6.2	INDONESIA	41
6.3	ECUADOR	43
6.4	VENEZUELA	44
7	PROPIEDADES DE ESTABILIZACIÓN DEL PASTO VETIVER	45
7.1	CONTROL DE LA EROSION	45
7.2	EVAPOTRANSPIRACION Y ABATIMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO	47
7.3	PODER DE PENETRACION DEL PASTO VETIVER	48
7.4	RESISTENCIA DE LA RAIZ	48
8	IDENTIFICACIÓN DE ZONAS PROBABLES O SIMILARES DONDE SE PODRÍA IMPLEMENTAR EL PASTO VETIVER EN COLOMBIA.	51
8.1	ADAPTABILIDAD DEL PASTO:	51
8.2	MOVIMIENTOS Y ZONAS.	51
8.3	ZONAS DE EROSIÓN EN COLOMBIA SEGÚN EL IDEAM Y EL IGAC (1977-2000).	52
8.4	ANÁLISIS DE ADAPTABILIDAD EN EL CLIMA COLOMBIANO:	53
9	TECNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PASTO VETIVER	59
9.1	MATERIAL PARA LA SIEMBRA	59
9.2	PREPARACIÓN DEL TERRENO ANTES DE LA SIEMBRA	60
9.3	SIEMBRA DE PASTO VETIVER EN EL SITIO	61
9.4	MANTENIMIENTO	65
10	CONCLUSIONES	66
	BIBLIOGRAFÍA	67

LISTA DE FIGURAS

	pág.
FIGURA 1 PROMEDIOS ANUALES DE LLUVIA Y TEMPERATURA (°C), EN COLOMBIA	17
FIGURA 2 CLASIFICACIÓN DE LA GEOLOGÍA DE COLOMBIA.....	19
FIGURA 3 ESQUEMA DE UN CAÍDO O DERRUMBE	20
FIGURA 4 DERRUMBES EN CARRETERAS	21
FIGURA 5 ESQUEMA DE UN FLUJO.....	21
FIGURA 6 . FLUJO DE TIERRA EN MATERIALES ARCILLO ARENOSOS	22
FIGURA 7 LAHAR EN EL VOLCÁN CASITAS, NICARAGUA	22
FIGURA 8 ESQUEMA DE UN DESLIZAMIENTO	23
FIGURA 9 DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL	23
FIGURA 10 FOTOGRAFÍA TOMADA EN LA VEREDA NOCUTA, MUNICIPIO DE PESCA, BOYACÁ.	24
FIGURA 11 EROSIÓN EN CÁRCAVAS.	34
FIGURA 12 EROSIÓN DE BARRANCOS EN LADERAS.....	35
FIGURA 13 EROSIÓN EN RÍOS.....	36
FIGURA 14 TAILANDIA- CHIANG RAI	40
FIGURA 15 INDONESIA- WEST JAVA TALUDES ENTRE 30°-60°	41
FIGURA 16 INDONESIA WEST JAVA TALUDES MAYORES A 60°	42
FIGURA 17 ECUADOR-CONSTRUCCIÓN EN SITIO	43
FIGURA 18 VENEZUELA-CONSTRUCCIÓN EN SITIO	44
FIGURA 19 RAÍZ DEL PASTO VETIVER.....	48
FIGURA 20 MAPA CLIMÁTICO DE COLOMBIA.....	54
FIGURA 21 TEMPERATURA MEDIA PROMEDIO MULTIANUAL.....	55
FIGURA 22 TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA PROMEDIO MULTIANUAL TEMPERATURA	56
FIGURA 23 TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA PROMEDIO MULTIANUAL.....	57
FIGURA 24 PRECIPITACIÓN PROMEDIO ANUAL EN COLOMBIA.....	58
FIGURA 25 MACOLLA DE PASTO VETIVER	59
FIGURA 26 RETOÑO INDIVIDUAL DE VETIVER	60
FIGURA 27 SIEMBRA DE PASTO VETIVER	61
FIGURA 28 PROCESO DE SIEMBRA PASTO VETIVER	62
FIGURA 29 ESPACIAMIENTO SUGERIDO.....	63
FIGURA 30 ESQUEMA DE SIEMBRA	64

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1 PERDIDA DE SUELO	46
CUADRO 2 RESISTENCIA DE LAS RAÍCES DE ALGUNAS PLANTAS A LA TENSIÓN	49
CUADRO 3 PORCENTAJE DE SUELOS EROSIONADOS EN COLOMBIA SEGÚN FUENTE DE INFORMACIÓN (PERIODO 1977-2000)	52
CUADRO 4 PORCENTAJE DE EROSIÓN POR REGIONES EN COLOMBIA DE ACUERDO CON DATOS ELABORADOS POR EL IDEAM, 2001.	53

INTRODUCCIÓN

Con la creciente importancia que desde hace algunos años ha adquirido el cuidado del medio ambiente, la investigación e implementación de técnicas y materiales que beneficien el entorno social, económico y ambiental es un compromiso del que deben apropiarse profesionales del campo de la construcción. El progreso de una sociedad en conjunto con la protección ecológica y ambiental es indicador de su nivel de desarrollo por lo que en países como Colombia en vías de desarrollo, la gestión ambiental es fundamental en la formulación de nuevos proyectos. La incorporación de técnicas amigables con el medio ambiente de las que se han beneficiado los países más desarrollados y una de ellas es el uso de pasto vetiver en la contención de taludes cobra importancia para el país.

En las siguientes páginas se describirá como a través del uso del pasto vetiver para la estabilización de taludes se obtiene un beneficio ambiental y económico aplicado al terreno colombiano. Esta investigación está compuesta por la descripción del uso del pasto vetiver en otros países, los resultados obtenidos en diferentes escenarios, la incursión y aplicabilidad de esta técnica con un estudio de las condiciones climáticas de la geografía Colombiana en las que se puede usar.

1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Nativo de la India, el uso del vetiver por el humano puede remitirse hace 200 años para fines agrícolas y medicinales; solo hasta hace pocas décadas su uso en la ingeniería ha traído resultados favorecedores por lo que ha sido objeto de estudios e investigaciones y la creación de la organización “The Vetiver Network International”¹

Malasia es un país pionero en la aplicación del vetiver en la ingeniería, en 1982 se sembró vetiver con el fin de contener riveras escarpadas y más recientemente se han estabilizado taludes y rellenos a lo largo de la autopista Kuala Lumpur a Karak, en Australia un programa de protección de las líneas de ferrocarril ha incorporado vetiver como tecnología básica, también se ha utilizado para proteger carreteras y estructuras de control de inundación en Queensland; en China se aplicó la metodología en la Autopista Nacional y a raíz de esta experiencia estimaron que el sistema de vetiver cuesta del 12% al 20% de los costos de los sistemas convencionales, en Zimbabue para mantenimiento de 21.500 km de carreteras primarias, en Madagascar en un programa para proteger secciones de autopistas sujetas a inundaciones con un costo estimado del 50% por debajo del diseño convencional, en la autopista de las tierras altas de Camerún donde hay desniveles de 150 metros y lluvias de 3000 mm al año, en Latinoamérica el Salvador es el país que tiene la mayor experiencia en el uso de vetiver para la bioingeniería

A pesar de ser una técnica usada hace ya varios años en Colombia, el uso de métodos convencionales aún es alto y esto se debe en la mayoría de casos a desconfianza debido desconocimiento de este tipo de alternativas que, reducen el impacto ambiental de técnicas grandes empresas involucradas en construcción de infraestructura vial por ellos se hace necesaria la investigación.

¹ The Vetiver Network, International Blog. Vetiver grass. [en línea]. Bogotá: [citado el 17 de febrero de 2014]. Disponible en internet; <<http://vetivernetinternational.blogspot.com/>>

2 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El aumento del desarrollo en el país ha sido consecuente con el aumento de infraestructura vial en la que se hace necesaria una alteración topográfica del terreno, que generan inestabilidad y fenómenos de remoción en masa por lo que se contrarrestar los efectos causados.

Las técnicas convencionales utilizadas para estabilización en Colombia incrementan la afectación a los ecosistemas y son de alto costo por lo que se hace necesaria la participación de la Bioingeniería en la aplicación de soluciones, tecnología y materiales amigables con el medio ambiente, alternativas que contrarresten los efectos causados en las grandes y pequeñas obras de ingeniería en el país y debido a ello un deterioro del medio ambiente y los ecosistemas.

El pasto vetiver, como una alternativa con resultados favorecedores a nivel mundial, es una opción prometedora para nuestro país, y a pesar de ya tener incursiones en algunos proyectos de infraestructura vial, aún permanece como una opción incógnita y desconocida, por ello, y para favorecer un crecimiento de esta técnica se plantea la investigación de ella y su aplicación en la variedad climática y geológica de Colombia.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Bajo qué condiciones geológicas y climáticas de la geografía Colombiana es viable la implementación del pasto vetiver como alternativa técnica para la estabilización de taludes?

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la revisión bibliográfica para determinar las zonas en las que se podría implementar el pasto vetiver como elemento de contención de taludes, de acuerdo con su interacción con el suelo y las condiciones climatológicas de Colombia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar las ventajas del uso del pasto vetiver en la estabilización de taludes y las zonas posibles para su implementación.

Determinar e identificar las zonas posibles de implementación del pasto vetiver basado en las condiciones climáticas de Colombia.

Contrastar las ventajas económicas y ambientales que tiene la implementación del pasto vetiver en comparación con los sistemas convencionales utilizados en Colombia.

4 ALCANCES Y LIMITACIONES

El siguiente trabajo de investigación estuvo enmarcado de acuerdo a los siguientes aspectos:

4.1 TEMÁTICA

Este trabajo se centró en destacar el uso del sistema vetiver como material alternativo en la ingeniería sin dejar atrás el bienestar del medio ambiente, ya que lo que se busca es dar a conocer la aplicabilidad y los beneficios que tiene el pasto vetiver para mitigar los problemas ocasionados por la erosión y como se podrían aplicar en Colombia, en comparación con los sistemas tradicionales.

4.2 GEOGRAFÍA

Parte de esta investigación estará centrada en dar a conocer las características geográficas, topográficas y climáticas, así como las regiones que son más vulnerables en cuanto a los fenómenos de remoción en masa, para identificar en qué casos se podría implementar el uso del sistema vetiver.

4.3 TEMPORAL

Este trabajo se desarrollara en el lapso de tiempo comprendido en el periodo académico, en el cual se llevara a cabo todas las investigaciones documentales que nos permitan dar una opinión, acerca del uso del pasto vetiver en Colombia.

Con la realización de la investigación se espera:

- Identificar y conocer los diferentes fenómenos de remoción en masa que se presentan en el país.
- Dar a conocer los beneficios ambientales, económicos y de estabilidad que pueden aportar el uso del sistema vetiver en Colombia, frente al uso de otros sistemas.

5 MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 Geografía Colombiana. “Colombia es un país con una gran variedad de paisajes y regiones las cuales se evidencian en la geografía que compone la superficie del territorio nacional. Colombia cuenta con una extensión de 1'141.748 Km² de los cuales el 67% corresponden a planicies, mientras que el 33 % restante se distribuye en relieves montañosos y una pequeña fracción en islas continentales y no continentales”².

5.1.2 Las Regiones Naturales. La región natural hace referencia a cada zona dentro de la geografía de un país o continente que presenta las mismas características en cuanto al relieve, clima, flora y condiciones edáficas; para adentrarnos al tema abordaremos las características más relevantes de las regiones naturales que conforman el territorio nacional, tales como la Región: Amazónica, Andina, Pacífica, Caribe, Insular, Orinoquía.

5.1.2.1 Región Amazónica. La Amazonía colombiana tiene una extensión de 403.348 km² iguales al 35.3% de la superficie terrestre del país; limita al norte con la Orinoquía, al sur con los ríos Putumayo y Amazonas, al occidente con la cordillera Oriental y al oriente con Brasil y el río Negro. Esta región comprende los departamentos de Caquetá, Putumayo, Amazonas, Vaupés, Guainía y Guaviare, y representa las fronteras internacionales terrestres más extensas del país con Venezuela, Brasil, Perú y Ecuador.

Es una región de relieve plano, con altos registros de precipitaciones (lluvia) y temperaturas; está conformada por extensas selvas de clima cálido tropical las que albergan una enorme biodiversidad cuya extensión y valor apenas comienza a conocerse. La cuenca hidrográfica de la Gran Amazonía es la mayor del mundo y la región en su conjunto se erige como la última reserva de bosques tropicales con posibilidad de ser preservada en el Planeta.

5.1.2.2 Región Andina. La región Andina tiene este nombre porque está formada por las tres cordilleras de los Andes. Comprende tanto las montañas como los valles interandinos del Magdalena y Cauca, en una superficie aproximada a los 305.000 km². Se extiende desde el Sur en los límites con Ecuador hasta las estribaciones de las cordilleras en la llanura del Atlántico en el norte; al occidente limita con la región Pacífica y al Oriente con la Orinoquía y Amazonía.

² TODO COLOMBIA ES MI PASIÓN. Geografía Colombiana [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 21 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <www.todocolombia.com/geografia/geografiacolombiana.html>.>

La región Andina se caracteriza por su amplia diversidad climática, la cual es ocasionada por la altura sobre el nivel del mar, generando los llamados pisos térmicos, los cuales le proporcionan a la región diferentes niveles de humedad, radiación solar y temperatura.

Esta región también comprende los grandes centros hidrográficos del país como el Macizo Colombiano, el Nudo de los Pastos, el Páramo de Sumapaz y los nudos de Paramillo y Saturbán, donde nacen importantes ríos, como el Magdalena, Cauca, Caquetá, Patía, Sinú, San Jorge, Sumpaz, Putumayo y Lebrija.

5.1.2.3 Región Caribe. Se encuentran al norte del país, abarca desde la terminación de las cordilleras hasta el mar Caribe, con una extensión de 132.118 km². Se caracteriza por ser una región cálida, con mucha humedad, unos seis meses de temporada lluviosa y el otro periodo más seco. Sus principales subregiones son la Depresión del bajo Magdalena, el Delta del Magdalena, las Serranías de Abibe, San Jerónimo y San Jacinto, la Península de la Guajira, el golfo de Urabá y la Sierra Nevada de Santa Marta.

5.1.2.4 Región Insular. La conforman las islas, Islotes, Cayos, Morros, Bancos y Archipiélagos sobre el mar Caribe y el océano pacífico, donde abunda gran variedad de ecosistema marinos. Islas como Providencia y Santa Catalina en el Caribe, Gorgona, Gorgonilla y Malpelo en el pacífico son de origen volcánico y tiene un relieve abrupto y con playas escasas. Por su parte, isla de origen sedimentario, como San Andrés, se formaron gracias a los arrecifes de coral que las rodean por lo que tienen Relieves Suaves, Playas Extensas y Bancos Coralinos.

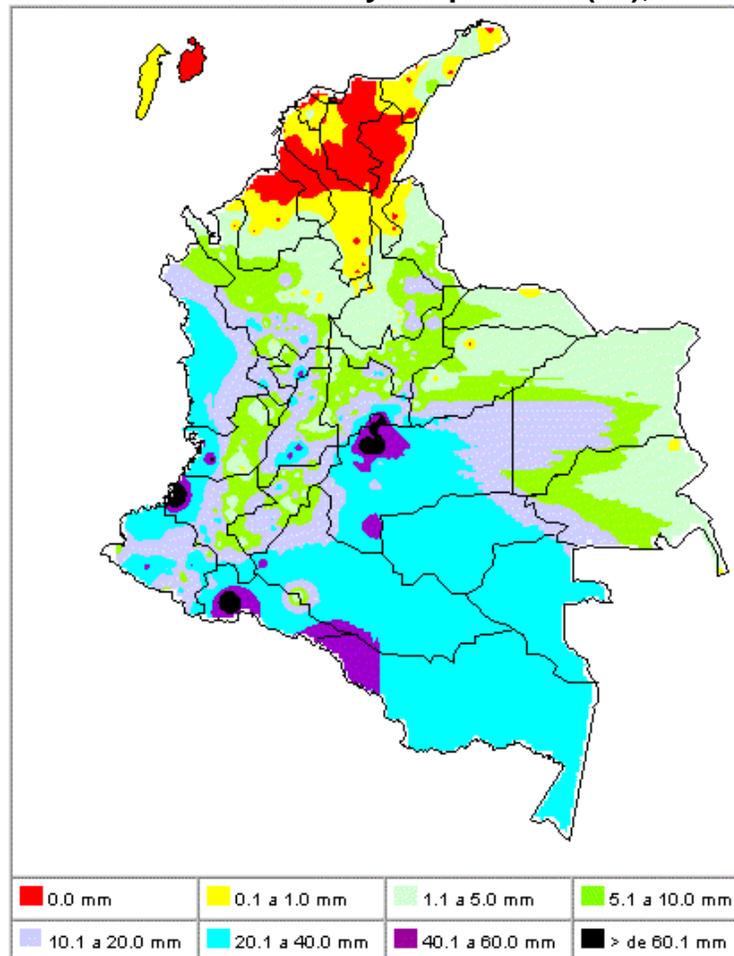
5.1.2.5 Región Orinoquía. Ubicada al oriente del país, tiene una extensión de 310.000 km², y se caracteriza por las amplias sabanas, los bosques de galería y de altillanura, la vegetación de pantano y de piedemonte, algunas zonas selváticas y llanuras inundables. Tiene gran variedad de suelos, con diferentes concentraciones de materia orgánica, por lo cual algunos sectores resultan aptos para los cultivos agrícolas comerciales.

5.1.2.6 Región Pacífica. Está ubicada en el occidente del país, abarcando toda la llanura del pacífico con una extensión de 83.170 km². Es una región muy húmeda y con amplia zona de manglares y pantanos. Cuenta con altos niveles de pluviosidad por lo cual sus ríos son muy caudalosos y tienen parte de vegetación selvática. Se destaca la serranía del Baudó, los valles de los ríos Atrato y San Juan, las llanuras de Tumaco y Buenaventura.

5.1.3 El Clima en Colombia. Colombia se desarrolla dentro de una zona intertropical del planeta.

El clima de las distintas regiones que componen el país, varían como consecuencia de los vientos alisios (soplan de manera constante en verano y menos en invierno), la humedad y los pisos térmicos de acuerdo con la altitud. Al no poseer las cuatro estaciones, Colombia está ligado a un régimen de estaciones bimodal, ya que en toda la superficie que la compone solo se presentan dos estaciones de lluvia (Abril a Junio) - (Agosto a Noviembre) y dos periodos de verano. El clima está condicionado por los fenómenos de enfriamiento (La Niña) y calentamiento (El Niño) del Océano Pacífico. Estos fenómenos se han presentado con mayor frecuencia en los últimos años a raíz del impacto ambiental que ha generado las actividades humanas³ (véase la Figura 1).

Figura 1 Promedios anuales de lluvia y temperatura (°C), en Colombia



Fuente. ASSOCIAZIONE LIGURE DI METEOROLOGIA - LIMET FORUM. Promedios anuales de lluvia y temperatura [en línea]. Roma: La Asociación [citado 5 abril, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.centrometeoligure.it/nindex.php>>

³ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Amenazas naturales de los andes de Colombia [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 25 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1579/1/amn-and-colombia.pdf>>.

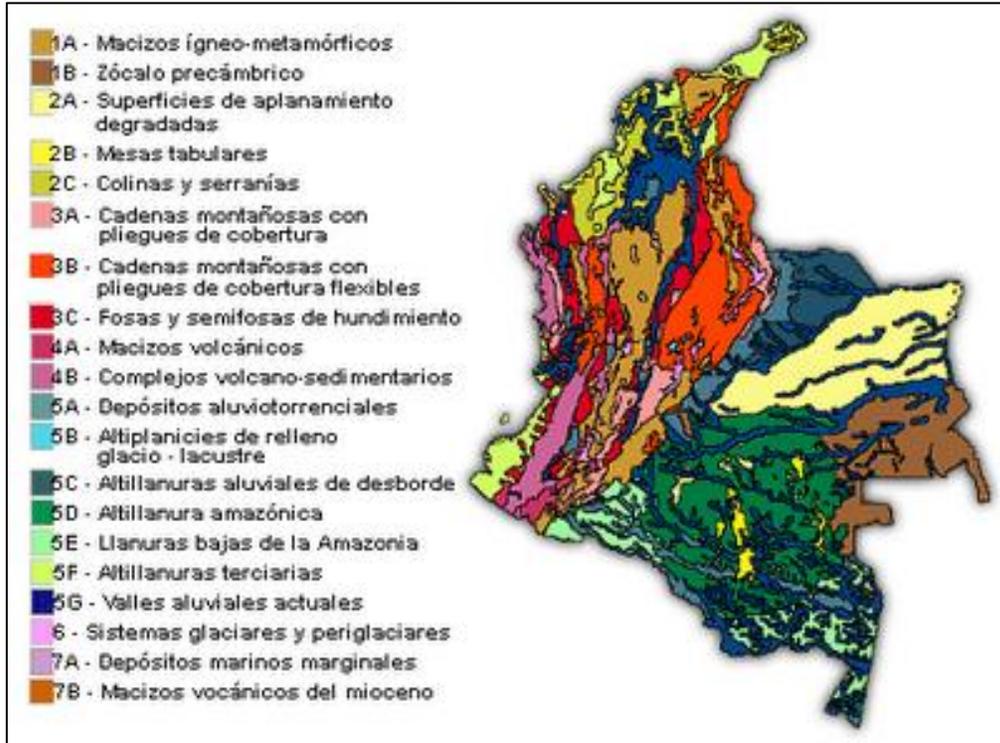
5.1.4 Geología. Colombia está situada dentro del marco tectónico global, en la placa suramericana que sufre un proceso de separación de la placa africana, y está rodeada por dos placas más: la placa de Nazca y la placa Caribeña. El vestigio de esa separación es una sutura en el piso del Océano Atlántico denominada Rift, allí diariamente sale magma que conforma el piso del Océano Atlántico originando un fenómeno de expansión y crecimiento.

Por estar en la esquina noroccidental de la placa suramericana Colombia se encuentra en un sitio de choque entre la placa Pacífica, Oceánica y el borde de la placa Suramericana, allí la placa pacífica empieza a penetrar debajo de la placa suramericana en un evento conocido como subducción. La placa del Caribe también presenta una zona de subducción y penetra a una velocidad de 1 a 2 cm por año. La placa Pacífica penetra a una velocidad mayor, 6 cm/año. Por esta razón en algunas zonas del territorio colombiano se presenta un alto riesgo de actividad sísmica debido a la subducción que se genera entre las placas de Nazca y Sudamericana, que asociado a la intensa actividad volcánica que se produce desde el departamento de Caldas, Tolima, Huila, Risaralda hasta Nariño, son los causantes de los principales fenómenos de remoción en masa.

En el país existe un sector con evaluación sísmica donde se acumula energía potencial que luego se libera y produce movimientos a lo largo del continente. La cordillera occidental y todo el andén pacífico constituyen una franja de alta amenaza sísmica. Al igual que el borde de la cordillera oriental es una zona de alta amenaza sísmica debido a la falla frontal de la cordillera que le delimita geológicamente del piedemonte llanero. La parte oriental del territorio hacia la Orinoquia y Amazonia Colombiana presenta amenaza sísmica baja⁴.

⁴ TECTOCLUB. Tectónica de Placas aplicada a Colombia [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 23 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <<http://geotectoclub.wikispaces.com/4.0+Tectonica+de+placas+aplicada+a+Colombia>>>.

Figura 2 Clasificación de la Geología de Colombia



Fuente. SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Clasificación geológica de [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 2 Abril, 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.sgc.gov.co/getattachment/Geologia/Mapa-geologico-de-Colombia/MGC_2007_2800K.pdf.aspx>

5.1.5 Fenómenos de Remoción en Masa. Los suelos de los Andes de Colombia son jóvenes, de morfología empinada, están asociados a rocas blandas, alteradas por un intenso ambiente tectónico y sometidas a un clima con fuertes contrastes de temperatura y precipitación; por lo tanto, estos suelos andinos tropicales, son suelos altamente inestables. Además, en Colombia predominan las rocas blandas con fuerte alteración tectónica, rocas que son materiales intermedios entre suelo y roca, y que están expuestas a agentes bioclimáticos intensos, por lo que aparecen altamente fracturadas y descompuestas; y como los suelos tropicales andinos, nuestros macizos rocosos también son altamente susceptibles a los factores detonantes de deslizamientos y fallas similares del medio eco sistémico, como son las lluvias y los sismos, sobre todo en las laderas de fuerte pendiente donde se han intensificado los procesos de modelado y la deforestación, además de las actividades urbanas⁵.

5.1.6 Clasificación de los Fenómenos de Remoción en Masa. De acuerdo a los diferentes autores que han apartado sus investigaciones al tema, se puede

⁵ CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES DE MEXICO – CENAPRED. Inestabilidad de Laderas. [en línea]. México: La Empresa [citado 21 abril 2014]. Disponible e Internet: <URL: <http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/PDF/SerieFasciculos/fasciculoladera-s2.pdf>>.

inferir que un “fenómeno de remoción en masa” es un desplazamiento en forma vertical de un determinado volumen de suelo o material litológico, que principalmente es producto de la gravedad, aunque en ocasiones también intervengan los efectos producidos por el agua. De acuerdo a las características de los movimientos que se presentan se ha adoptado la clasificación de VARNES 2000 ⁶ dentro de los cuales tenemos: Caídos y derrumbes, flujos, deslizamientos, reptación, volcamientos, hundimientos o subsidencia, erosión.

5.1.6.1 Caídos o Derrumbes. Se caracterizan por ser movimientos que se producen de manera inesperada, de suelos y fragmentos de rocas los cuales se producen en pendientes escarpadas y acantilados por lo que su tendencia es ocasionada en caída libre, rodando y rebotando. En las Figuras 3 y 4 se muestra las características de los caídos o derrumbes.

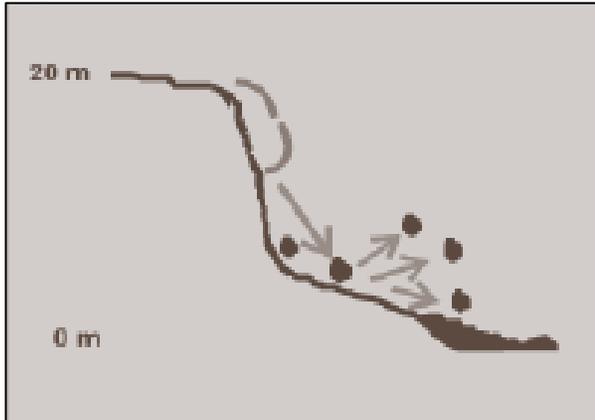
Figura 3 Esquema de un Caído o Derrumbe



Fuente. CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES DE MÉXICO CENAPRED. Inestabilidad de laderas [en línea]. México: CENAPRED [citado 15 Abril, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.cenapred.unam.mx/es/>>

⁶FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - FOPAE. Deslizamientos – Generalidades [en línea]. Bogotá: FOPAE [citado 22 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.fopae.gov.co/portal/page/portal/FOPAE_V2/Mapa%20Gestion%20del%20Riesgo%20Bogota/Deslizamientos/Generalidades>

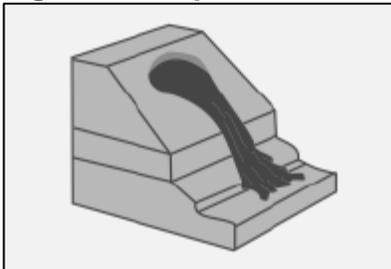
Figura 4 Derrumbes en Carreteras



Fuente. CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES DE MÉXICO CENAPRED. *Inestabilidad de laderas [en línea]. México: CENAPRED [citado 15 Abril, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.cenapred.unam.mx/es/>>*

5.1.6.2 Flujos. Es el desplazamiento de suelos y / o fragmentos de rocas ladera abajo, en donde sus partículas, granos o fragmentos tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. (Véase la Figura 5).

Figura 5 Esquema de un Flujo



Fuente. CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES DE MÉXICO CENAPRED. *Inestabilidad de laderas [en línea]. México: CENAPRED [citado 15 Abril, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.cenapred.unam.mx/es/>>*

Los flujos están caracterizados por ser muy rápidos o muy lentos, así como están los que presentan propiedades secas o húmedas.

Figura 6 . Flujo de Tierra en Materiales Arcillo Arenosos



Fuente. CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES DE MÉXICO CENAPRED. *Inestabilidad de laderas [en línea]*. México: CENAPRED [citado 15 Abril, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.cenapred.unam.mx/es/>>

➤ **Lahares.** Flujo de suelos o detritos que se originan en el talud de un volcán, generalmente disparado por lluvias intensas que erosionan depósitos volcánicos, deshielo repentino por actividad volcánica, por rotura de represas o desbordamiento de agua represada y/o por la ocurrencia de sismos. En la Figura 7 se presenta un ejemplo de lahar que tiene lugar en Nicaragua.

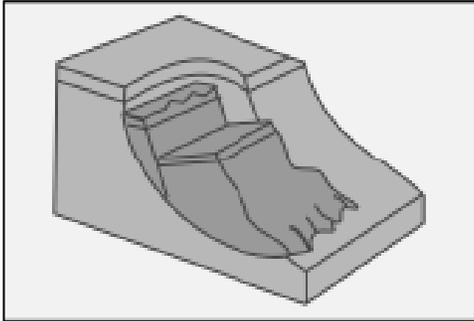
Figura 7 Lahar en el Volcán Casitas, Nicaragua



Fuente. CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES DE MÉXICO CENAPRED. *Inestabilidad de laderas [en línea]*. México: CENAPRED [citado 15 Abril, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.cenapred.unam.mx/es/>>

5.1.6.3 Deslizamientos. Movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, delimitada por una o varias superficies, planas o cóncavas, sobre las que se desliza el material inestable. (Véase la Figura 8).

Figura 8 Esquema de un Deslizamiento



Fuente. CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES DE MÉXICO CENAPRED. Inestabilidad de laderas [en línea]. México: CENAPRED [citado 15 Abril, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.cenapred.unam.mx/es/>>

De acuerdo a las características de la superficie de deslizamiento, se clasifican en:

➤ **Rotacionales.** Deslizamientos en los que su superficie principal de falla resulta cóncava, es decir, hacia arriba en forma de cuchara o concha, definiendo un movimiento rotacional de la masa inestable de suelos y/o fragmentos de rocas.

A menudo estos deslizamientos rotacionales ocurren en suelos arcillosos blandos, aunque también se presentan en formaciones de rocas blandas.

➤ **Traslacionales.** Deslizamientos en los que la masa de suelos y/o fragmentos de rocas se desplaza hacia fuera y hacia abajo, a lo largo de una superficie principal más o menos plana, con muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. Usualmente determinan deslizamientos someros en suelos granulares, o bien, están definidos por superficies de debilidad en formaciones rocosas, tales como planos de estratificación, juntas y zonas de cambio de estado de meteorización en las rocas. En la Figura 9 se puede ver claramente las características de este tipo de deslizamientos.

Figura 9 Deslizamiento Traslacional



Fuente. CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES DE MÉXICO CENAPRED. Inestabilidad de laderas [en línea]. México: CENAPRED [citado 15 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.cenapred.unam.mx/es/>>

5.1.6.4 Reptación. Consiste en movimientos muy lentos o extremadamente lentos del suelo sub superficial sin una superficie de falla definida. Generalmente el movimiento del terreno es de pocos centímetros al año y afecta grandes áreas del terreno. (Véase la Figura 10).

Figura 10 Fotografía Tomada en la Vereda Nocuta, Municipio de Pesca, Boyacá.



Fuente. GEOLOGÍA AMBIENTAL. Fenómenos de remoción en masa [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 15 abril, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://mayrambiental.es.tl/FEN%3MENOS-DE-REMOCI%D3N-EN-MASA.htm>>

5.1.6.5 Volcamientos. Son movimientos producidos sobre una ladera o talud, debidos a colapso de material rocoso por una heterogeneidad litológica y estructural. El movimiento se produce por acción de la gravedad y por rotación hacia delante de un material rocoso alrededor de un punto de giro localizado en su parte inferior.

5.1.7 Erosión. Los fenómenos asociados con la pérdida de suelo por origen eólico e hídrico, dependen de la susceptibilidad que tenga el área en términos de su geología, pendiente, uso del suelo, actividades antrópicas y cobertura vegetal. Abarca la separación, el transporte y la sedimentación de los suelos.

- Surcos
- Cárcavas
- Laminar

5.1.8 Causas y Condiciones que Originan los Fenómenos de Remoción en Masa. Los fenómenos de remoción en masa son producto de factores condicionantes y desencadenantes. Los primeros son originados por las características propias de las laderas, los desencadenantes o factores externos se presentan por las condiciones climáticas, eventos extremos o por el impacto ocasionado por la actividad antrópica que es generada por el hombre.

La alteración de las características del relieve producto de las excavaciones, construcción de caminos, sobrecargas debido a estructuras, terraplenes o rellenos, como resultado de las diferentes actividades antrópicas que se desarrollan por el hombre en pro de su bienestar, cambian considerablemente las condiciones hidrogeológicas, ya que al alterarse la pendiente de la ladera, se aumenta la velocidad de escorrentía provocando erosión e infiltración abundante de agua en el terreno, que acompañado de la excesiva deforestación y destrucción de la corteza vegetal, no solo generan enormes impactos ambientales sino que provoca la desestabilización del talud.

No solo las actividades antropogénicas han sido las causantes de los deslizamientos, sino que la acción de la naturaleza por si misma ha provocado numerosos desastres; convirtiendo a los deslizamientos de laderas como uno de los fenómenos naturales más peligrosos. En las últimas décadas los deslizamientos, derrumbes y flujos del suelo han cobrado la vida de miles de personas, además de las múltiples pérdidas económicas y materiales.

5.1.9 Factores Condicionantes. Son originados por las características propias de la ladera, como la morfología, la geología, precipitación en la zona, entre otras que se explicaran a continuación.

5.1.9.1 Morfología y Topografía. Las características del relieve son factores propicios para la inestabilidad, ya que la pendiente y la altura juegan un papel muy importante en los efectos producidos por la gravedad.

5.1.9.2 Geología y Características de los Suelos Superficiales. Factores como el tipo de roca, grado de meteorización y alteración, así como las discontinuidades (fracturas, grietas y fallas), planos estratigráficas, porosidad, propiedades físicas y mecánicas (resistencia y deformación); los cuales provocan el desmenuzamiento o descomposición de las rocas.

5.1.9.3 Condiciones Hidrogeológicas. El agua que se infiltra en el terreno disminuye considerablemente la resistencia a cortante, al llenarse los poros y los vacíos que componen el suelo, lo que ocasiona un aumento el peso volumétrico y en los esfuerzos actuantes.

5.1.9.4 Vegetación. Las raíces de las plantas cumplen una función súper importante, al fijar los suelos superficiales a los estratos de roca que se encuentran más abajo los cuales tienen una mayor resistencia. La vegetación es la encargada de absorber la humedad contenida en el suelo, disminuyendo el impacto que genera la lluvia y atenuando considerablemente la velocidad de escorrentía.

5.1.10 Factores Desencadenantes. Son ocasionados por agentes externos como el clima, eventos extremos, o por la actividad antrópica generada por el hombre, la cual altera considerablemente las características de la ladera.

5.1.10.1 Lluvias. Trae diversas consecuencias dependiendo de su duración e intensidad en un área determinada, ya que sus excesos provocan la rotura de los capilares, disolución de los cementantes y el aumento del agua subterránea.

5.1.10.2 Terremotos. Los movimientos generados por las ondas sísmicas, alteran los esfuerzos actuantes dentro del terreno produciéndose deslizamientos, flujos, avalanchas entre otros fenómenos de remoción en masa.

5.1.10.3 Vulcanismo. Las erupciones volcánicas provocan deslizamientos y avalanchas de gran magnitud y velocidad en las laderas de los conos volcánicos, al derretirse las nievas perpetuas en las partes altas de las cumbres se generan flujos que se caracterizan por su gran velocidad.

5.1.10.4 Congelación y Deshielo. Afecta generalmente a las regiones que se caracterizan por las bajas temperaturas, lo que ocasiona que al contraerse y expandirse el terreno se generen fisuras y grietas por las cuales se infiltra el agua.

5.1.10.5 Erosión y Socavación. La erosión producida por los ríos y oleaje, produce la socavación del material que se sitúa en el pie de la ladera lo cual modifica el estado tensional y los esfuerzos actuantes del terreno.

5.1.10.6 Actividad Humana. La alteración de las características del relieve producto de las excavaciones, construcción de caminos, sobrecargas debido a estructuras, terraplenes o rellenos, como resultado de las diferentes actividades antrópicas que se desarrollan por el hombre en pro de su bienestar, cambian considerablemente las condiciones hidrogeológicas, ya que al alterarse la pendiente de la ladera se aumenta la velocidad de escorrentía provocando erosión e infiltración abundante de agua en el terreno, que acompañado de la excesiva

deforestación y destrucción de la corteza vegetal, no solo generan enormes impactos ambientales si no que provoca la desestabilización del talud

5.1.11 Sistemas Implementados para la Estabilización de Taludes. En Colombia predominan rocas blandas, es decir, materiales intermedios entre suelos y rocas.

Las rocas blandas son susceptibles a los cambios de humedad típicos del ambiente tropical. Para la zona andina en el oriente de Colombia predominan espesos coluviones y en el occidente suelos residuales y volcánicos. El occidente está afectado por fuerte actividad tectónica.

El hombre siempre se ha preocupado por construir las más ingeniosas y elaboradas obras de ingeniería que lo provean de desarrollo y le generen un beneficio económico y social, dejando a un lado en muchas ocasiones el impacto ambiental que estas puedan generar.

Lo que nos interesa en esta investigación es conocer los diferentes métodos de estabilización que se han utilizado para contener el desprendimiento y el derrumbe de grandes masas de terreno sin entrar en una forma detallada, pero sin perder la objetividad del trabajo; pero también nos interesa conocer los nuevos métodos que aportan no solo estabilidad si no beneficios al medio ambiente⁷.

5.1.11.1 Definición y Partes que Componen al Talud. El talud es una superficie inclinada con respecto a la horizontal que haya de adoptar permanentemente las masas de tierras, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería. Los taludes se clasifican en *naturales* (cuando se producen sin intervención humana, se denomina ladera) o *artificiales* (cortes y terraplenes cuando son producidos por el hombre). Sin duda el talud representa la estructura más compleja de las vías terrestres.

El talud o la ladera según sea el caso está compuesto de las siguientes partes⁸:

➤ **Altura.** Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.

➤ **Pie.** Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.

⁷ ESCOBAR DUQUE, Gonzalo. Manual de geología para ingenieros. Manizales: Universidad nacional de Colombia, 2003. p.23

⁸ SUAREZ DÍAZ, Jaime. Control de erosión en zonas tropicales - Caracterización de los movimientos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2001. p. 396

➤ **Cabeza o escarpe.** Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.

➤ **Altura de nivel freático.** Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

➤ **Pendiente.** Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.

5.1.12 Sistemas de Estabilización. “Los sistemas que se han implementado para la estabilización de taludes se dividen en: recubrimiento de la superficie, control del agua superficial y subterránea, estructuras de contención, mejoramiento del suelo”⁹

5.1.12.1 Sistemas de Recubrimiento de Superficies. Consiste en la protección de la superficie, con lo cual se previene la infiltración debido a las lluvias y mantener el terreno parcialmente seco.

➤ **Concreto lanzado.** El concreto lanzado es una mezcla de cemento y agregados, los cuales se pueden colocar en seco o por vía húmeda. Generalmente, se coloca una malla de refuerzo previamente al lanzado del concreto. Se debe tener especial cuidado en las consecuencias de procesos de expansión y contracción, los cuales pueden destruir por agrietamiento la superficie de los taludes.

Para facilitar el drenaje, se deben construir huecos o lloraderos que atraviesen la superficie de recubrimiento y, en esta forma evitar las presiones de poro por represamiento de agua subterránea.

➤ **Recubrimiento en suelo cemento.** Este sistema puede mejorar las condiciones de permeabilidad de un talud, ya que al utilizarse la superficie queda relativamente impermeable, lo cual disminuye considerablemente la infiltración.

En los países asiáticos se utiliza un sistema llamado “Chunam Plaster” que consiste en una mezcla de cemento, cal y suelo, la cual tiene una dosificación de sus componentes como se indica a continuación:

Una parte de cemento Portland, tres partes de cal hidratada y veinte partes de suelo residual de granitos o suelos orgánicos.

➤ **Mampostería.** Consiste en bloques de concreto o en piedra pegada con concreto o mortero. Las juntas entre los bloques se rellenan con un mortero 3 a 1

⁹ Ibid., p. 397

o se utiliza vegetación; cuando se utiliza mortero para su recubrimiento se dejan lloraderos para evacuar las aguas subterráneas.

➤**Rip Rap.** Este sistema se basa en la colocación de piedra suelta acumulada la una sobre la otra, sobre la superficie del talud, generalmente debajo del Rip Rap se coloca un geotextil no tejido como elemento de protección adicional.

El tamaño de las piedras depende de la pendiente del talud, ya que si la pendiente del talud no es muy empinada se pueden colocar piedras de mayor tamaño.

5.1.12.2 Sistemas de Mejoramiento del Suelo. Para densificar el suelo se han utilizado diversos productos químicos, con el fin de mejorar la resistencia o reducir la permeabilidad de suelos y macizos rocosos.

Para lograr tal fin se han inyectado al suelo componentes cementantes como cemento y cal, o productos químicos como silicatos, ligninos, resinas, acrilamidas y uretanos. El cemento y la cal se utilizan en suelos gruesos o en fisuras abiertas y los productos químicos se emplean en superficies menos permeables.

➤**Estabilización con cemento.** Se realiza un proceso de cementación y relleno de los vacíos del suelo o roca y las discontinuidades que tienen mayor abertura, aumentando de esta manera la resistencia de la ladera, y contrastando la infiltración de agua.

A menudo al cemento se le agregan diversos aditivos, para optimizar el resultado de la inyección como: aceleradores, retardadores, coloides para minimizar la segregación, materiales expansores, tomas reductoras de agua entre otros. También se le agrega arena, arcilla o puzolana, ceniza como llenadores para disminuir los costos de inyección.

➤**Estabilización con cal.** Se ha implementado la estabilización de terraplenes de arcilla agregándoles cal viva (CaO). Al reaccionar esta mezcla de arcilla con cal se produce silicato de calcio el cual es un compuesto muy duro y resistente.

Las investigaciones adelantadas por (Boynton y Blacklock) implementaron la utilización de técnicas de inyección de lechada de cal dentro del suelo. Se ha encontrado una limitante en cuanto a la utilización de este material ya que no es efectiva en suelo granulares.

➤**Calcinación o tratamiento térmico.** Se realizan tratamientos térmicos que calcinan el suelo a altas temperaturas. Al aplicarse temperaturas mayores a los 400 °C el suelo se endurece por completo ya que se altera la estructura cristalina de los minerales de arcilla y se van perdiendo los elementos OH. Los cambios sufridos mediante la aplicación de esta técnica son irreversibles y produce

diferentes modificaciones en las propiedades físicas de los suelos. Las propiedades que más se afecta es la disminución del índice de plasticidad, la capacidad de absorción de agua, la expansibilidad y la compresibilidad. La estabilización térmica consiste en pasar gases a temperaturas de 1000°C por huecos o ductos dentro del suelo.

➤ **Magnificación.** Este proceso consiste en fundir el suelo a temperaturas de más de 5000°C con lo cual se cristaliza y se produce un magma artificial, que después de enfriarse y cristalizarse se convierte en roca. Este proceso se lleva a cabo en dos etapas, la primera que consiste realizar las perforaciones de varias pulgadas de diámetro en el suelo, y la segunda es introducir un cilindro o pistola magmificadora que se acciona por corriente eléctrica, la cual va convirtiendo el suelo en magma, aproximadamente en un radio de un metro de distancia del hueco.

➤ **Compactación profunda.** El incremento de la densidad del suelo se puede lograr a grandes profundidades, mediante la aplicación de alguno de los siguientes sistemas:

➤ **Pilotes de compactación.** La compactación se logra por el desplazamiento del suelo al hincar un pilote, retirarlo y al mismo tiempo rellenar el espacio desplazado con material del suelo. El hincado de los pilotes se puede realizar mediante medios de percusión o de vibración.

➤ **Vibro compactación profunda.** Para realizar este procedimiento se utiliza un equipo conocido con el nombre de vibro flotador, que se suspende de una grúa, penetra el suelo debido a su peso, un sistema de vibración que inyecta agua por la punta inferior. Al penetrar el equipo en el terreno, vibra con amplitudes grandes, lo cual produce un desplazamiento en forma horizontal de los materiales. El espacio vacío generado por la vibración se va rellenando con arena o grava. Este sistema es adecuado para ser utilizado arenas y limos granulares.

5.1.12.3 Sistemas de Estructuras de Contención.

➤ **Bermas en el talud.** Al excavarse bermas puede aumentar la amenaza de los derrumbes. Los fragmentos que se desprenden, a menudo tienden a saltar en las bermas, al diseñarse bermas anchas pueden ser eficaces, para ciertos casos de deslizamientos, especialmente de trozos de roca.

➤ **Trincheras.** Al ejecutarse excavaciones o también llamadas trincheras en el pie del talud, se puede reducir considerablemente que los fragmentos que se desprenden no afecten la calzada de una vía, representa una solución muy práctica si se cuenta con el espacio adecuado para su construcción.

Sus dimensiones (ancho- profundidad), están relacionadas con las características del talud (altura-pendiente). En pendientes superiores a 75 grados, los bloques tienen la tendencia a permanecer próximos a la superficie del talud, para pendientes de 55 a 75 grados, tienden a saltar y rotar, por lo que se requiere una mayor dimensión al momento de construirse las zanjas, para pendientes de 40 a 55 grados, los fragmentos son propensos a rodar, por lo que además se requiere de la construcción de una pared vertical junto a la trinchera para evitar que las rocas se salgan.

➤ **Muros masivos rígidos.** Son estructuras muy resistentes, comúnmente de concreto y mampostería, las cuales no pueden presentar deformaciones excesivas sin sufrir daños. Se deben apoyar sobre terrenos adecuados para la transmisión de fuerzas desde su cimentación al cuerpo del muro que produzcan fuerzas de contención, es decir que reduzcan los empujes horizontales.

➤ **Reforzados.** Son muros de concreto reforzado, los cuales se pueden usar en grandes alturas, que pueden superar los diez metros, previo a su diseño estructural y estabilidad. El muro a su vez se apoya en una cimentación por fuera de la masa inestable.

➤ **Concreto simple.** Relativamente simples en su construcción y mantenimiento, pueden adoptar diferentes formas al momento de su construcción, para propósitos arquitectónicos.

➤ **Concreto ciclópeo.** “Sus características son similares a las del concreto simple. Se utilizan grandes rocas o bloques como material embebido, lo que disminuye considerablemente los volúmenes de concreto. Algunos arqueólogos las denominan también construcciones megalíticas. Estos muros son elementos estructurales que se sitúan para retener cargas de empujes laterales del terreno hacia un posible espacio, evitando deslizamientos al interior del mismo”¹⁰

➤ **Muros masivos Flexibles.** Son estructuras continuas y flexibles. “Su efectividad depende de su peso y de la capacidad de soportar grandes deformaciones, sin que sufra algún daño su estructura. Las estructuras de contención flexibles son aquellas en las que los movimientos de sólido rígido y los movimientos debidos a la flexión de la propia estructura, se produce en porcentajes similares”¹¹

➤ **Muros criba.** Estos muros también han sido denominados muros jaula, están provistos por dos clases de vigas cortas, las cuales están hechas de hormigón prefabricado o madera que se enlazan entre sí, formando una barrera que

¹⁰ *Ibíd.*, p. 398

¹¹ SLIDESHARE. Estructuras de contención. [En Línea]: < <http://www.slideshare.net/johannaximena1/muros-de-contencion>>. Bogotá [Citado 22 de Agosto, 2013].

rellenada con material granular drenante, o permeable que le aporta resistencia y peso formando un muro de gravedad.

➤ **Gaviones.** Son cajas conformadas en malla de alambre de acero. Cada pieza es llenada con piedra y conectada una con otra para formar una estructura de retención monolítica y que trabaja por gravedad. Después de instalados se convierten en elementos flexibles, armados, drenantes y aptos a ser utilizados en la construcción de las estructuras más diversas. Se conocen dos tipos de gaviones: Gavión caja, Gavión Saco, Gavión de base, Gavión de cuerpo, Gaviones de recubrimiento o colchonetas.

➤ **Muros en llantas usadas.** Estos muros son conocidos como Pneusol o Tiresoil, los cuales consisten en rellenos de suelo con llantas de caucho usadas embebidas. Las llantas son unidas entre sí por sogas de refuerzo. Tanto los elementos de anclaje como los de retención superficial del suelo son construidos con llantas.

➤ **Anclajes y pernos individuales.** Se utilizan para la estabilización de bloques individuales o puntos específicos dentro de un macizo rocoso.

➤ **Muros anclados.** Se construyen en forma progresiva de arriba hacia abajo, conjuntamente con la excavación.

➤ **Micro pilotes (Soil Nailing).** Es un sistema de refuerzo in situ, utilizando micropilotes vacíos, los cuales son capaces de movilizar resistencia a la tensión en caso de que ocurra un deslizamiento. Los micropilotes pueden ser varillas de acero, tubos o cables que se introducen dentro de huecos perforados en el terreno.

5.1.12.4 Geo sintéticos. Los geo sintéticos se emplean usualmente para preservar la superficie del talud frente a la aparición de agentes erosivos y para retener las capas superficiales del terreno. Sus principales beneficios es favorecer y acelerar los procesos de arraigo y desarrollo de las plantas.

Existen diferentes tipos de geo sintéticos entre los que se destacan:

➤ **Geo mallas.** Están fabricadas de polipropileno, resistentes a la tensión y con alto módulo de elasticidad. Se emplean como materiales de refuerzo. Un caso es el de los muros de tierra reforzada o gavión, que añaden al conjunto resistencia a la tracción.

➤ **Geo compuestos.** Son una combinación de otros tipos de geo sintéticos, formulada para cumplir con funciones específicas. Un ejemplo son los geo drenes, formados por mallas tridimensionales las cuales están fabricadas con fibras de polietileno de alta densidad, fibra de nylon u otros materiales no

fotodegradables, tejida en una o más capas. Después de que se instalan en la superficie del talud se rellenan de tierra y se siembran las plantas, las cuales al entrelazarse con las fibras del geo sintético, forman una capa resistente, que fija el estrato vegetal con la superficie del talud, con lo cual se forma una capa que protege el terreno de la erosión.

➤ **Geo textiles.** Son tejidos flexibles y porosos, los cuales tienen una gran resistencia a la degradación, tensión y puncionamiento, por tal motivo pueden suplir diferentes funciones de refuerzo, filtración, drenaje, control de erosión y estabilización. Debido a su gran versatilidad, cumplen una gran función en la estabilización de taludes.

➤ **Agglutinantes y adherentes.** Son productos los cuales tienen una composición acuosa, por tal motivo deben ser lanzados sobre la superficie del talud. Después de secarse esta composición, se forma una capa protectora o costra que evita la disgregación de las partículas del suelo. Los productos que usualmente se utilizan son pegantes, emulsiones bituminosas, plásticos líquidos, emulsiones de aceite de butadieno. Favorecen al talud frente a la erosión, pero no brindan ninguna ayuda para mejorar sus condiciones micro climáticas, ni tampoco son propicios para ayudar a la revegetación¹².

5.2 TIPOS DE EROSIÓN

La Erosión, es una serie de procesos naturales de naturaleza física y química que desgastan y destruyen los suelos y rocas de la corteza de un planeta, en este caso, de la Tierra.

“La erosión terrestre es el resultado de la acción combinada de varios factores, como la temperatura, los gases, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal. En algunas regiones predomina alguno de estos factores, como el viento en las zonas áridas”¹³.

5.2.1 Erosión Hídrica en Cárcavas. Las cárcavas son definidas como zanjas más o menos profundas, las cuales son originadas por socavamientos repetidos sobre el terreno, debido al flujo incontrolado del agua que escurre ladera abajo (agua de escorrentía), (véase la Figura 11). “Cuando las cárcavas evolucionan con crecimiento hacia arriba y hacia los lados de la ladera, toman el nombre de cárcavas remontantes. La presencia de ellas indica un grado avanzado de

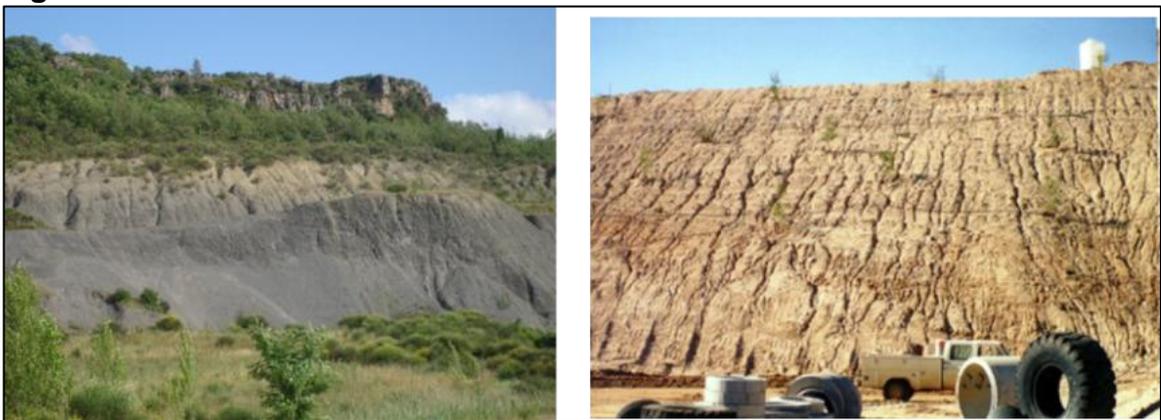
¹² REVISTA CONSTRUIR. Empleo de geosintéticos en la estabilidad de taludes [en línea]. Bogotá: La Revista [citado 22 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.revistaconstruir.com/obra-gris/geosinteticos/109-empleo-de-geosinteticos-en-la-estabilidad-de-taludes>>

¹³ ASTROMÍA. La erosión de la superficie terrestre [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 31 octubre, 2013]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.astromia.com/tierraluna/erosion.htm>>.

degradación, ya que por lo general se inician luego de la pérdida superficial del suelo por impacto de lluvias y destrucción de los agregados naturales”¹⁴

5.2.2 Erosión Hídrica de Barrancos en Laderas. “La erosión de barrancos en laderas, es una erosión superficial. Después de una lluvia se pierde una capa fina y uniforme de toda la superficie del suelo como si fuera una lámina. Es la forma más peligrosa de erosión hídrica ya que está perdida, al principio casi imperceptible solo será visible cuando pase el tiempo y por causa de movimientos de remoción en masa, lo que conlleva consecuentemente al derrumbe del material”¹⁵. (Véase la Figura 12).

Figura 11 Erosión en Cárcavas.



Fuente. GEOSISTEMAS PAVCO. Erosión en Cárcavas [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 25 abril, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://pavco.com.co/index.php?view=page&id=4>>

¹⁴ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Avance técnico 256 Cenicafé [en línea]. Bogotá: La Federación [citado 21 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.oocities.org/biotropico_andino/cap2.pdf>

¹⁵ UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA. Erosión [en línea]. Montevideo: La Universidad [citado 24 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/EROSION.pdf>>

Figura 12 Erosión de Barrancos en Laderas



5.2.3 Erosión en Ríos. Consisten en el descenso generalizado del fondo debido a una mayor capacidad para arrastrar y transportar en suspensión el material del fondo durante una avenida.

“La erosión en un tramo ocurrirá siempre que en la sección de aguas abajo, el volumen de material transportado sea mayor que en la sección de aguas arriba. Cuando es una erosión en la parte transversal del río, es por la reducción del ancho del río debido a factores humanos o naturales. Y cuando es en curvas, consiste en un incremento de la profundidad del fondo en la zona cercana a la orilla exterior”¹⁶.

¹⁶ UNIVERSIDAD DE MICHOACAN. Erosión en Ríos [en línea]. México: La Universidad [citado 25 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.fic.umich.mx/~statiana/EROSION.pdf>>

Figura 13 Erosión en Ríos



Fuente. Fuente. GEOSISTEMAS PAVCO. Erosión en Ríos [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 25 abril, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://pavco.com.co/index.php?view=page&id=116>>

5.3 MARCO CONCEPTUAL

➤ **Remoción en Masa.** “Es el proceso geomorfológico en el que actúa el suelo, regolito y la roca con movimientos cuesta abajo debido a la fuerza de gravedad. Este proceso es también conocido como movimiento de inclinación, movimiento de masa o deslizamiento de masa”¹⁷

➤ **Antrópicos:** Se habla de factores antrópicos cuando se está refiriendo a la actividad humana o intervención de la mano del hombre.

➤ **Material Litológico:** “Es la materia mineral coherente, consolidada y compacta. Se puede clasificar por su edad, su dureza o su génesis”¹⁸.

➤ **Gaviones.** “Los gaviones son contenedores de piedras retenidas con malla de alambre. Se colocan in situ en la obra y se rellenan con piedras del lugar. Con ellos se ayuda a filtrar el agua del terreno, a evitar deslizamientos y controla la erosión”¹⁹

¹⁷ WIKIPEDIA. Remoción en masa [en línea]. Bogotá: Wikipedia [citado 29 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Remoci%C3%B3n_de_masa

¹⁸ WIKIPEDIA. Litología [en línea]. Bogotá: Wikipedia [citado 29 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Litolog%C3%ADa>>

¹⁹ WIKIPEDIA. Gavión [en línea]. Bogotá: Wikipedia [citado 27 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Gavi%C3%B3n>>

➤ **IDEAM.** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales De Colombia.

➤ **Escorrentía.** “La escorrentía superficial es el fenómeno más importante desde el punto de vista de la ingeniería, y consiste en la ocurrencia y transporte de agua en la superficie terrestre”²⁰.

➤ **Sedimentación.** “La sedimentación es la acumulación de los materiales procedentes de la erosión, en zonas en las que los agentes externos pierden su capacidad de transporte debido a la pérdida de energía”²¹.

➤ **Zona Intertropical.** “Es la franja que se ubica entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio”²².

²⁰ UNIVERSIDAD MARIANA PASTO-COLOMBIA. Escorrentía superficial [en línea]. Pasto: La Universidad [citado 27 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.umariana.edu.co/gia/pdf/Clases/Clase%208.%20Escorrentia%20Superficial.pdf>>.

²¹ KALIPEDIA. Sedimentación [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 22 abril 2014]. Disponible en Internet:<URL: http://co.kalipedia.com/ecologia/tema/sedimentacion.html?x=20070417klpcnatun_113.Kes&ap=2.>.

²² WIKIPEDIA. Zona Intertropical [en línea]. Bogotá: Wikipedia [citado 29 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL:<http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_intertropical>.

6 USO DEL PASTO VETIVER PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN OTROS PAISES

Los factores de la vegetación que contribuyen a la estabilidad de laderas son el refuerzo de raíz y la evapotranspiración, la presión de poros siendo reducida y la fuerza cortante del suelo cada vez mayor contribuyen a la cohesión aparente y ángulo de fricción interna (Hengchaovanich, 1998). Vetiver contribuirá al control de la erosión y la estabilidad de la ladera, reduciendo la velocidad de la escorrentía, evapotranspiración y su refuerzo de raíz. Hengchaovanich et al. (1996) estudio las propiedades de resistencia a la tensión de la raíz Vetiver y su resistencia a la estabilidad de la masa poco profunda y la erosión superficial. Según el estudio, las raíces de vetiver son muy fuertes, con alta resistencia media a la tensión de 75 MPa. Era evidente que la penetración de las raíces de vetiver en un perfil del suelo aumenta la resistencia al corte del suelo de manera significativa. Vetiver, con un sistema radicular de largo (2 a 3,5 m.) y fuertes y masivas redes, puede reducir la erosión y estabilizar el suelo de la ladera si se plantan en filas a través de la pendiente. En suelos con alto contenido de nutrientes, Vetiver puede desarrollar un vallado radicular totalmente denso en temporadas de lluvias que estará funcionando eficazmente después de 4 meses (Sanguankaeo et al., 2006). Las barreras radicales de vetiver actúan como una pared viva que está en contra y reduce la escorrentía, y el suelo erosionado es depositado detrás de la barrera vegetal. Las barreras de vetiver se han encontrado de ser capaces de resistir el agrietamiento por flujos de agua de 0.028 m³ / s (Huang et al., 2003). Kon y Lim (1991) informó que en comparación con el suelo desnudo, el sistema vetiver fue capaz de controlar la escorrentía y la erosión total del suelo (pérdida de suelo) con 73 y 98% de reducción, respectivamente. Bajo las barreras de Vetiver el sistema radicular interactúa en el suelo en el que ha crecido, formando un nuevo material compuesto por las raíces con alta resistencia a la tracción y adherencia, embebidas en una matriz de un material de menor resistencia a la tracción. Las raíces de vetiver refuerzan un suelo por transferencia de esfuerzo de corte en la matriz del suelo a las inclusiones de tracción (Hengchaovanich, 2006). En otras palabras, la resistencia al corte de la capa superficial entre 1-2 m. es mejorada y estabilizada por el sistema de raíces. El vetiver estabiliza el suelo en pendientes no sólo por el refuerzo de raíz, sino por conseguir que el suelo se seque por evapotranspiración. La zona de suelos de alta humedad en las barreras de vetiver se limitaba a una profundidad menor de 50 centímetros (Hengchaovanich, 1998; Babolola et al, 2003; Singhatat, 1994). En suelos saturados de agua o en pendientes con nivel freático alto, si se planta el vetiver, la masiva y profunda raíz podría elevar el agua por capilaridad lo que reduce la humedad en el suelo por lo que disminuye la presión de poros por agua (Chomchalow, 2010; Hengchaovanich, 1998). Esta situación tendrá efectos positivos en la estabilidad de las laderas, especialmente para las capas superficiales de 1 a 2 m. la cual es propensa a deslizamientos (fallas poco profundas) o en los flujos de suelos

saturados.²³

6.1 TAILANDIA

El clima de Tailandia es tropical húmedo dividido en una estación lluviosa que dura de mayo a Octubre, y una estación seca. La precipitación en el país por lo general más de 1.500 mm, la temperatura varía entre 18 a 40°C.

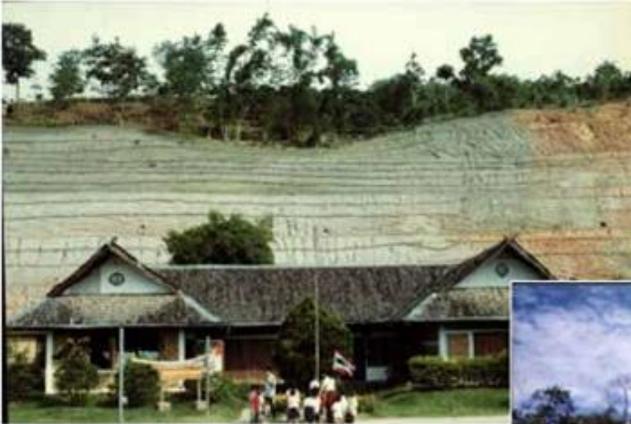
En la región norte la estación de lluvias dura de mayo a octubre. En la Costa oriental y costa de Andaman, la temporada de lluvias dura de octubre a abril y de mayo a octubre, respectivamente. El Departamento de Carreteras ha encontrado con problemas de erosión y deslizamientos de tierra en carreteras de montaña a lo largo del Norte, del Sur y la región Nordeste.

La Tecnología del Pasto Vetiver para control de erosión y estabilización de taludes en carreteras es una técnica específica la cual tiene un grado de dificultad en el establecimiento en taludes de carreteras, debido a suelos con bajo nivel de nutrientes y pendientes más pronunciadas (30 a 60 grados o 60 a 180%) en comparación con suave pendientes en tierras de cultivo (rara vez supera los 8 grados o 15%). Por otra parte, en algunas áreas las malas hierbas locales presentan un crecimiento vigoroso y reemplazan el vetiver después de 1 a 2 años de la plantación, que luego lleva a la insostenibilidad del sistema de vetiver. Por sugerencia de Su Majestad, la experiencia en resultados de la aplicación y la investigación obtenidos a partir de Ban Rai — I Thong, Kanchanaburi Provincia, el sistema de Vetiver para el control de la erosión y estabilización de taludes de carreteras ha sido reafirmado y verificado para lograr el máximo beneficio y la sostenibilidad (Sanguankaeo et al., 2006)..²⁴

²³ SURAPOL, sanguankaeo. Sistema vetiver sostenible para el control de erosión y estabilización de taludes en carreteras en Tailandia [en línea]. Tailandia: Departamento de carreteras [citado 30 de abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: https://attachment.fsbx.com/file_download.php?id=273256436141627&eid=ASsKrz4Qs_U-XiOEwBXVOo9MWb7YroowLYfgELyPAm5FaSJSAPnkMiA3z3D38WLI8gE&inline=1&ext=1399077002&hash=ASStiWmVGv6-S9V5z f.>

²⁴ SURAPOL, sanguankaeo. Sistema vetiver sostenible para el control de erosión y estabilización de taludes en carreteras en Tailandia [en línea]. Tailandia: Departamento de carreteras [citado 30 de abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: https://attachment.fsbx.com/file_download.php?id=273256436141627&eid=ASsKrz4Qs_U-XiOEwBXVOo9MWb7YroowLYfgELyPAm5FaSJSAPnkMiA3z3D38WLI8gE&inline=1&ext=1399077002&hash=ASStiWmVGv6-S9V5z f.>

Figura 14 Tailandia- Chiang rai



Fuente. THE VETIVER NETWORK, INTERNATIONAL BLOG. VETIVER GRASS. [En línea]. Bogotá: [citado 30 de abril 2014]. Disponible en internet; <<http://vetivernetinternational.blogspot.com/>>.

A una altitud promedio de 580msnm el clima en Chiang Rai se caracteriza por tres estaciones: cálido, lluvioso y frío.

6.2 INDONESIA

Asep Sunandar and Nanny Kusminingrum Indonesian Institute of Road Engineering (IRE), realizo una serie de experimentos en taludes con pendientes entre 30° a 80° en West Java.

Figura 15 Indonesia- West Java taludes entre 30°-60°



Fuente. THE VETIVER NETWORK, INTERNATIONAL BLOG. VETIVER GRASS. [En línea]. Bogotá: [citado 30 de abril 2014]. Disponible en internet; <<http://vetivernetinternational.blogspot.com/>>.

Figura 16 Indonesia West Java taludes mayores a 60°



Fuente. *THE VETIVER NETWORK, INTERNATIONAL BLOG. VETIVER GRASS.* [En línea]. Bogotá: [citado 30 de abril 2014]. Disponible en internet; <<http://vetivernetinternational.blogspot.com/>>.

Dando por resultados:

- El sistema vetiver se puede utilizar eficazmente para controlar la erosión y la falla superficial de los taludes
- El S.V. se puede utilizar con eficacia en pendientes de 30° a 60°-
- En los taludes con pendientes mayores a 60°se recomienda usar el S.V. combinándolo con geo textiles y/o métodos mecánicos.

6.3 ECUADOR

Ecuador tiene varias similitudes climáticas con Colombia y con un buen empleo del SV en conjunto con métodos mecánicos se obtuvo el siguiente resultado.

Figura 17 Ecuador-Construcción en sitio



Fuente. THE VETIVER NETWORK, INTERNATIONAL BLOG. VETIVER GRASS. [En línea]. Bogotá: [citado 30 de abril 2014]. Disponible en internet; <<http://vetivernetinternational.blogspot.com/>>.

6.4 VENEZUELA

Al ser países vecinos su clima y geografía pueden ser semejantes en algunos lugares

Figura 18 Venezuela- Construcción en sitio



Fuente. THE VETIVER NETWORK, INTERNATIONAL BLOG. VETIVER GRASS. [En línea]. Bogotá: [citado 30 de abril 2014]. Disponible en internet; <<http://vetivernetinternational.blogspot.com/>>.

7 PROPIEDADES DE ESTABILIZACIÓN DEL PASTO VETIVER

Un talud que este bien diseñado 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 erosionables.

Es en esta situación que el pasto vetiver puede desempeñar una función de estabilización. El pasto vetiver crece rápido en las pendientes pronunciadas o en los suelos altamente erosionables y llega a ser funcional en tan solo 3- 5 meses. Asimismo, puede sobrevivir en suelos de mala calidad, con alta acidez, alcalinidad o salinidad, y puede soportar periodos prolongados de sequía y anegamiento.

7.1 CONTROL DE LA EROSION

Varios investigadores han llevado a cabo estudios para determinar la capacidad de retención de sedimentos 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 revelo 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.²⁵

²⁵ The Vetiver Network, International Blog. El Pasto Vetiver En La Estabilización De Pendientes Y El Control De La Erosión. [en línea]. Bogotá: [citado el 10 de mayo de 2014]. Disponible en internet; < http://www.vetiver.org/LAVN_elpasto.htm>

Refuerza y protege el talud contra el daño causado por la erosión superficial. Lo que permite proteger los taludes en el borde del camino y rehabilitar los taludes de corte colapsados.

Cuadro 1 Pérdida de suelo

Tratamiento con seto vivo	Pérdida de suelo (t/hect.)		Escurrimiento (%de precipitación)
	15% de gradiente	26% de gradiente	
Control (sin setos)	16,81	35,52	88
Lirio	11,98	16,06	76
Zacate limón	7,58	7,62	81
Helecho	4,22	1,55	66
vetiver	1,13	4,91	72
MDS (5%)	1,87	2,68	5,0

Fuente. The Vetiver Network, International Blog. El Pasto Vetiver En La Estabilización De Pendientes Y El Control De La Erosión. [En línea]. Bogotá: [citado el 10 de mayo de 2014]. Disponible en internet; < http://www.vetiver.org/LAVN_elpasto.htm>

7.2 EVAPOTRANSPIRACION Y ABATIMIENTO DE LA HUMEDAD DEL SUELO

En ensayos preliminares se mostró que en las plantas de vetiver ocurre una importante cantidad de evapotranspiración. Sin embargo, se necesita llevar a cabo investigaciones adicionales para recopilar más información y dar mayor sustento a lo anterior. Debido a su masiva y profunda red radicular, se anticipó que el vetiver sería capaz de abatir la humedad del suelo y reducir, de esta forma, la presión del agua en los poros; en consecuencia, puede incrementar la succión en condiciones de saturación parcial. Desde el punto de vista geotécnico, esta situación tendría efectos benéficos en la estabilidad de las pendientes al incrementar el reforzamiento mecánico provisto por las raíces.

En una investigación distinta realizada en Australia sobre la competencia por la humedad del suelo entre setos vivos de vetiver y sorgo, se descubrió que efectivamente existía una competencia, en la que se vieron afectados los cultivos adyacentes al vetiver. Sin embargo, en general, permaneció intacta la función del vetiver en la conservación del agua (mediante la infiltración) y del suelo (por la retención de sedimentos). Esto obedece a que la inclinación en los terrenos agrícolas es normalmente leve y pocas veces excede el 15%, en contraposición con las pronunciadas gradientes de las carreteras. En consecuencia, la distancia entre surcos entre el intervalo vertical (IV) es bastante separada. Por esto, los cultivos en los surcos internos alejados de los setos vivos de vetiver, no sufren la competencia e incluso pueden obtener humedad adicional de la infiltración y retención de aguas escurridas.

Por otro lado, en las construcciones civiles, las pendientes pueden variar de 30 a 60 grados del 60 al 180%, por lo que la distancia entre los setos de vetiver para un intervalo vertical de 1,0 m es bastante reducida. Por consiguiente, el abatimiento de la humedad en tales pendientes sería mayor, lo que representa una ventaja adicional del vetiver en el proceso de estabilización de pendientes.²⁶

²⁶ The Vetiver Network, International Blog. El Pasto Vetiver En La Estabilización De Pendientes Y El Control De La Erosión. [en línea]. Bogotá: [citado el 10 de mayo de 2014]. Disponible en internet; < http://www.vetiver.org/LAVN_elpasto.htm>

7.3 PODER DE PENETRACION DEL PASTO VETIVER

En un estudio realizado por el Departamento de Desarrollo Territorial de Tailandia, a solicitud de Su Majestad, El Rey Bhumibol, 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 intemperizada, pedregón rodado o alguna otra capa relativamente dura, las penetrantes raíces de vetiver servirán de anclaje mediante la acción de "tendón" de sus raíces.

Figura 19 Raíz del pasto vetiver



Fuente. Vetiver Bioingeniería. Vetiver Pasto [en línea]. Bogotá: El Blog [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: < <http://vetiverbioingenieria.blogspot.com/2011/05/vetiver-pasto.html>>

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.²⁷

7.4 RESISTENCIA DE LA RAIZ

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

²⁷ The Vetiver Network, International Blog. El Pasto Vetiver En La Estabilización De Pendientes Y El Control De La Erosión. [en línea]. Bogotá: [citado el 10 de mayo de 2014]. Disponible en internet; < http://www.vetiver.org/LAVN_elpasto.htm>

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).

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

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

Fuente. The Vetiver Network, International Blog. El Pasto Vetiver En La Estabilización De Pendientes Y El Control De La Erosión. [En línea]. Bogotá: [citado el 10 de mayo de 2014]. Disponible en internet; < http://www.vetiver.org/LAVN_elpasto.htm>

*Wu (1995) **Hengchaovanich y Nilaweera (1996)

Asimismo, debido a su denso y masivo sistema radicular subterráneo, el pasto vetiver ofrece un mayor incremento en la resistencia al cortante por unidad de concentración de fibra (6-10 kPa por kg de raíz por m³ de

suelo) en comparación con 3,2-3,7 kPa por kg de raíz de árbol por m³ de suelo.²⁸

²⁸ The Vetiver Network, International Blog. El Pasto Vetiver En La Estabilización De Pendientes Y El Control De La Erosión. [en línea]. Bogotá: [citado el 10 de mayo de 2014]. Disponible en internet; < http://www.vetiver.org/LAVN_elpasto.htm >

8 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS PROBABLES O SIMILARES DONDE SE PODRÍA IMPLEMENTAR EL PASTO VETIVER EN COLOMBIA.

8.1 ADAPTABILIDAD DEL PASTO:

El pasto vetiver es una planta con gran capacidad de adaptación y resistencia a situaciones extremas, tanto de clima como de suelos, fácil de mantener y con pocas restricciones climáticas para su uso; aun así científicamente y en el transcurso de los años de uso y pruebas con este pasto en la contención y estabilización de taludes se han demostrado condiciones climáticas óptimas para obtener los mejores resultados:

El Vetiver puede sobrevivir en los dos extremos de los gradientes de temperatura y precipitación, sobrevive a temperaturas ambientales de entre los -9 °c y 44 °c, siempre y cuando la temperatura del suelo este sobre los 12 °C. Los rendimientos más altos se obtienen en temperaturas alrededor de los 25 °C.

Resiste largas sequias, más aun luego de una temporada de lluvias, por esto se adapta en zonas tropicales con estaciones climáticas prolongadas, con precipitaciones anuales que superen los 250 mm.

Debido a que es una hierba erecta, del tipo C4, el Sol es indispensable para su desarrollo y crecimiento, por eso la sombra es un factor adverso, y bajo condiciones de sombra superiores al 40% su crecimiento disminuye considerablemente e incluso llega a ser nulo. Por eso la altitud no es restricción, hasta cuando se presente nubosidad que generan sombra y temperaturas del suelo muy bajas.

8.2 MOVIMIENTOS Y ZONAS.

Entre las áreas más propensas a la inestabilidad de taludes están las zonas montañosas y escarpadas, por lo que debe aplicarse en zonas que no contengan mucho relieve con procesos erosivos y de meteorización intensos, laderas de valles fluviales, zonas con materiales blandos y sueltos, macizos rocosos arcillosos y alterables, zonas sísmicas, zonas de precipitación elevada, etc. Las laderas pueden estar formadas por afloramientos rocosos o suelos, incluyendo éstos últimos los derrubios y coluviones sobre sustrato rocoso.

La pendiente debe ser preferiblemente no mayor a los 45 grados para que los flujos de precipitación circulen normalmente y el material pétreo y particulado no caiga, provocando así deslizamientos²⁹

²⁹ DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS. Movimientos de terrenos [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 10 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.proteccioncivil.org/movimientos-del-terreno>>.

8.3 ZONAS DE EROSIÓN EN COLOMBIA SEGÚN EL IDEAM Y EL IGAC (1977-2000).

De acuerdo con los registros del IDEAM y del IGAC, la erosión en Colombia por acción del agua o del viento y prácticas agronómicas o construcción de infraestructura, según el IDEAM para el año 2000, “cerca del 25% de sus tierras tienen procesos erosivos severos o muy severos. Mientras que el IGAC por su parte reporto para esa misma época solamente alrededor del 4% con estos mismos grados de erosión (severos o muy severos). Esto significa que entre ambas entidades hay un gran margen de error y/o contradicción por lo cual no hay una certeza de cuál es el correcto”³⁰.

Cuadro 3 Porcentaje de Suelos Erosionados en Colombia según Fuente de Información (periodo 1977-2000)

Evaluación de la erosión	INDERENA 1977	IGAC 1987	IDEAM 1998	IGAC 1998	IDEAM 2000
Sin erosión	24.8	48.5	0	14.7	52
No apreciable				44.9	4.6
Ligera	36.4	28.0	45.5	19.5	9.5
Moderada	12.8	12.9	11.1	11.3	8.9
Severa	0.6	7.8	7.8	3.3	10.8
Muy severa	1.6	0.7		0.5	14.2
Otros	23.8	2.1	35.6	5.8	
TOTALES	100	100	100	100	100

Fuente. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Erosión de suelos [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_2.html>

En la siguiente cuadro (cuadro 4), se observa las pérdidas de suelos por erosión afectan la mayor parte del territorio nacional incorporado a la frontera agrícola. El 55% de erosión alta y muy alta se refleja en la región de Orinoquia y un 52% de erosión en los mismos estados (alta y muy alta) en la región Caribe.

³⁰ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Agricultura sostenible [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_2.html>

Cuadro 4 Porcentaje de Erosión por Regiones en Colombia de Acuerdo con datos Elaborados por el IDEAM, 2001.

Erosión	Caribe	Orinoquía	Andina	Pacífico	Amazonia
Muy alta	37	25	11	0	1
Alta	15	30	7	1	4
Moderada	20	8	12	1	4
Baja	18	8	15	1	3
Muy baja	4	6	6	0,03	4
Sin erosión	6	23	4	97	84
Total	100	100	100	100	100

Fuente. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Erosión de suelos [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_2.html>

En resumen, “el Estado colombiano no posee información continua y actual sobre el fenómeno erosivo y existe una duplicación de funciones entre el IDEAM y el IGAC, cuyos datos no coinciden. Por lo que no se puede dar una afirmación correcta acerca de que regiones del país actualmente son de mayor erosión”³¹.

8.4 ANÁLISIS DE ADAPTABILIDAD EN EL CLIMA COLOMBIANO:

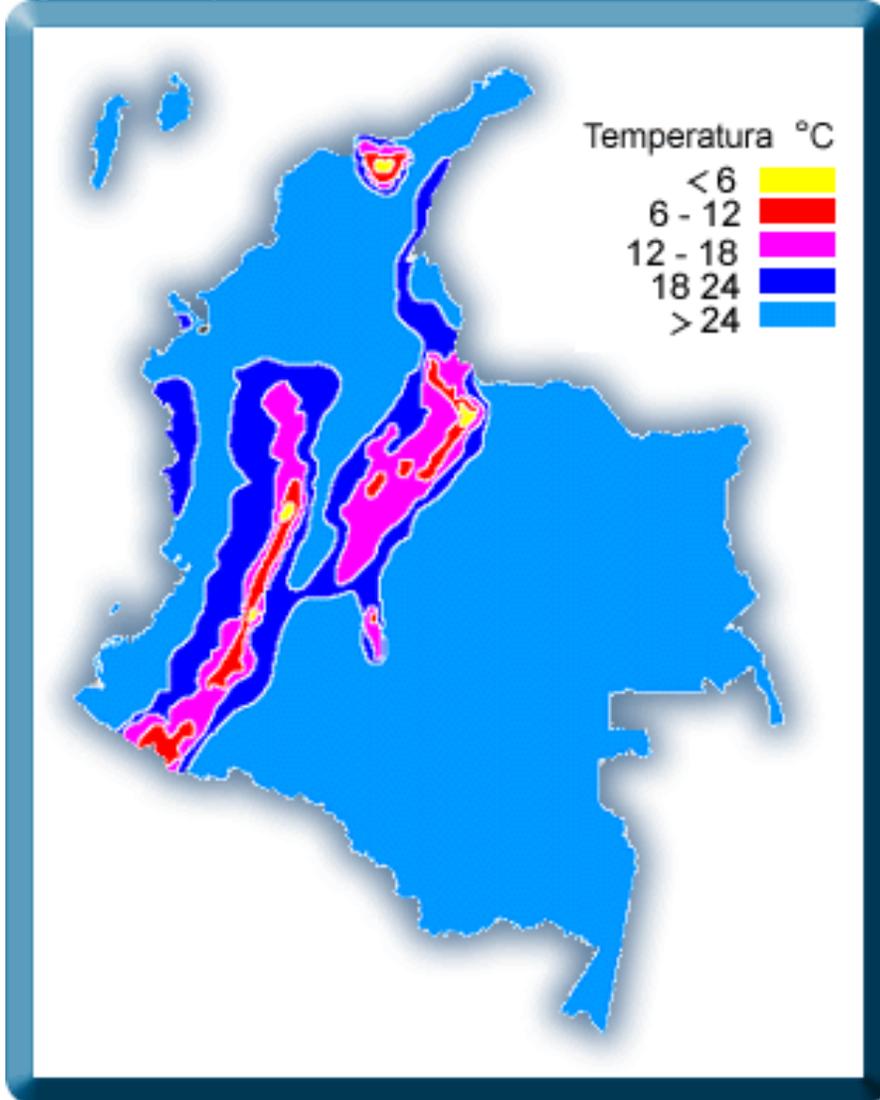
Colombia por su privilegiada ubicación geográfica cuenta con una oferta variada de climas, pisos térmicos y estaciones determinado los aspectos geográficos y atmosféricos como precipitaciones, intensidad radiación solar, temperatura, sistemas de vientos, altitud, continentalidad y humedad atmosférica, de estos aspectos la temperatura y las precipitaciones son los más relevantes respecto al nivel de adaptabilidad del sistema vetiver por lo que usando las ilustraciones 1,2,3,4 y 5 realizamos un análisis climatológico de estos aspectos y se observa que el 80% del territorio colombiano lo comprenden zonas cálidas con temperaturas sobre los 24°C, un 10% del clima es templado entre 16 y 23 °C, 8% del territorio es frío entre 9 y 15 °C%, 1% entre 0 y 8°C y el restante tiene temperaturas bajo cero, correspondiente a los páramos y nieves perpetuas.

Las precipitaciones en las zonas más secas, por debajo de 500 mm anuales no superan un 3%.

Consecuentemente con el anterior análisis se concluye que en el 100% del territorio las condiciones climáticas son propicias para el desarrollo del sistema vetiver, en un 80% bajo condiciones óptimas y 20% bajo condiciones soportables a las que el vetiver puede adaptarse.

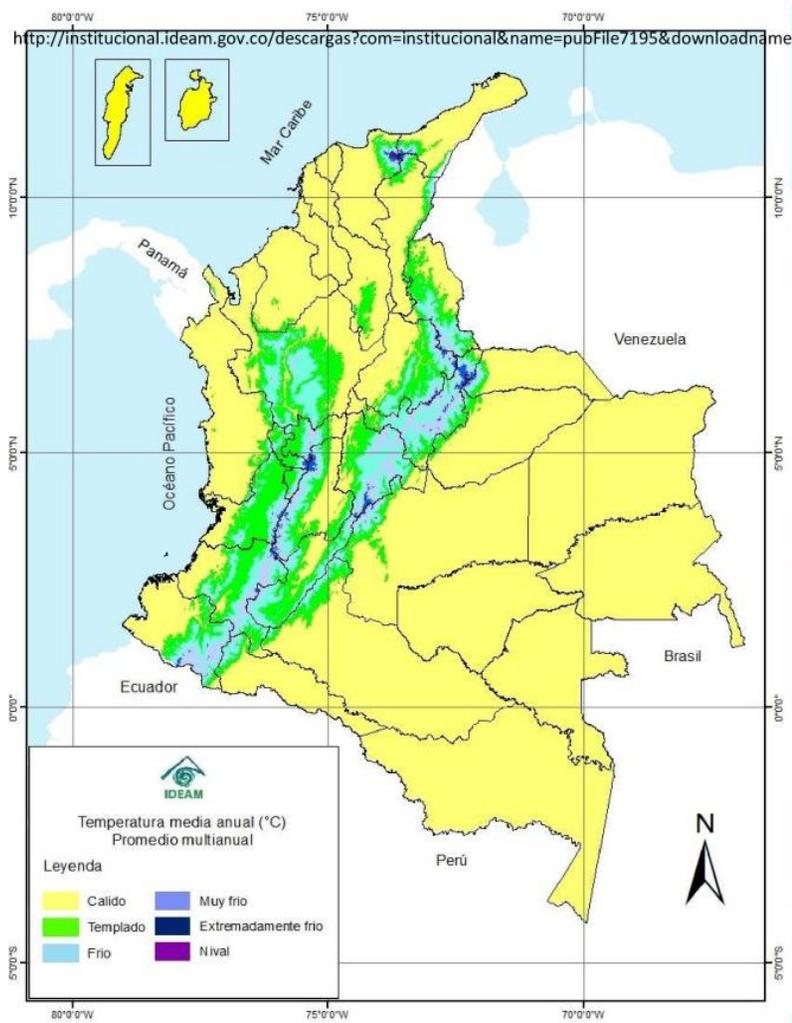
³¹ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Agricultura sostenible [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_2.html>

Figura 20 Mapa climático de Colombia



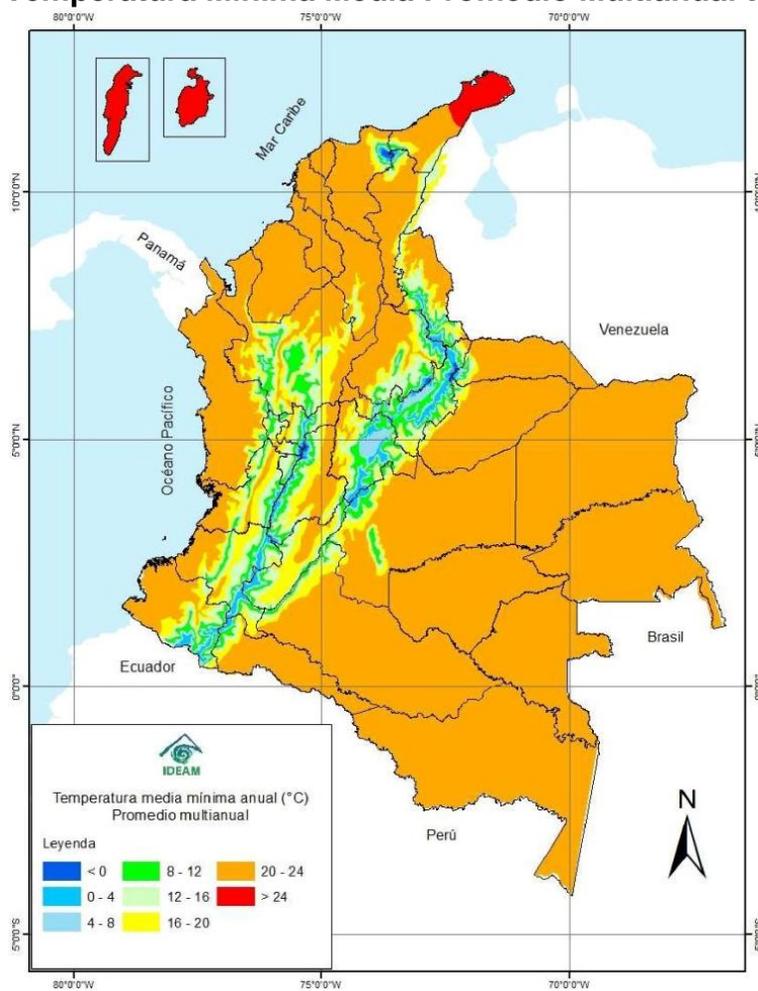
Fuente. AKI Y AI. Mapa temperatura Colombia [en línea]. Bogotá: [citado 1 de mayo 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.akiyai.com/images/easyblog_images/7545/mapa_temperatura_colombia.gif >

Figura 21 Temperatura Media Promedio multianual



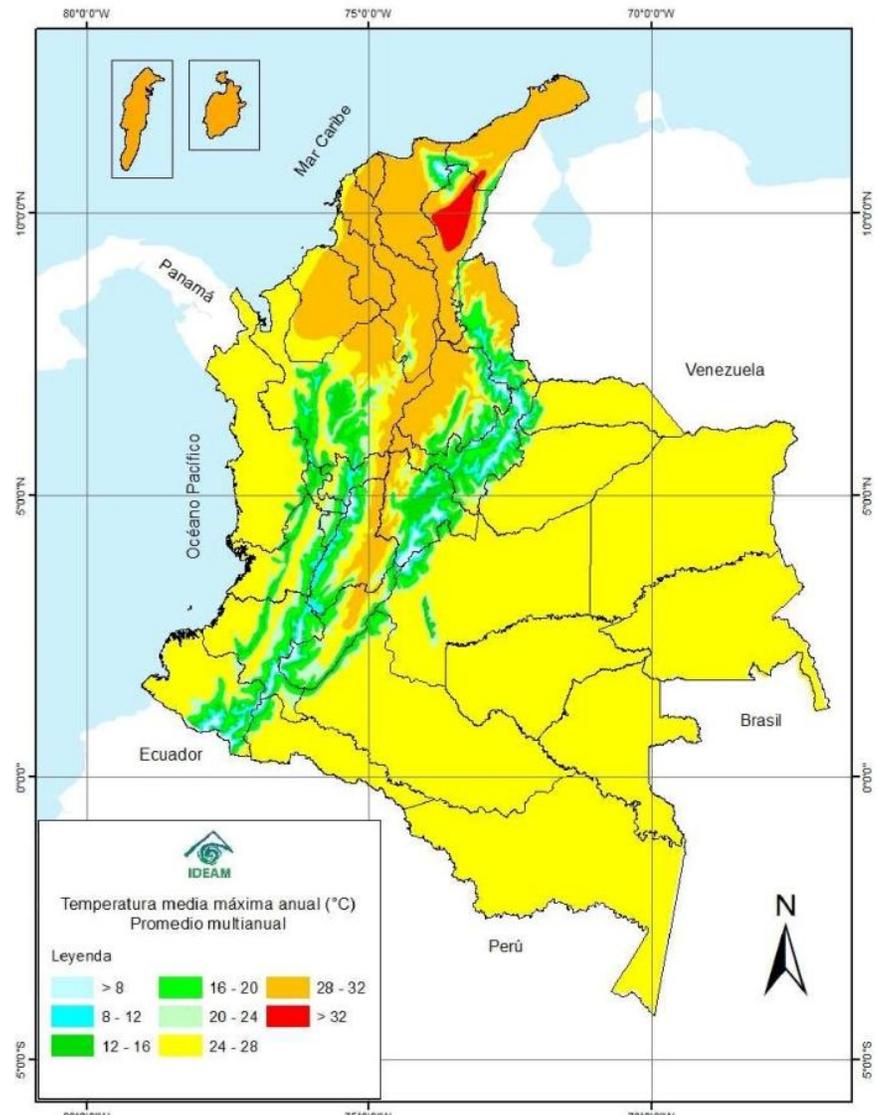
Fuente. ASSOCIAZIONE LIGURE DI METEOROLOGIA - LIMET FORUM. Temperatura Media Promedio multianual [en línea]. Roma: La Asociación [citado 1 de mayo 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.centrometeorigure.it/nindex.php>>

Figura 22 Temperatura Mínima Media Promedio Multianual temperatura



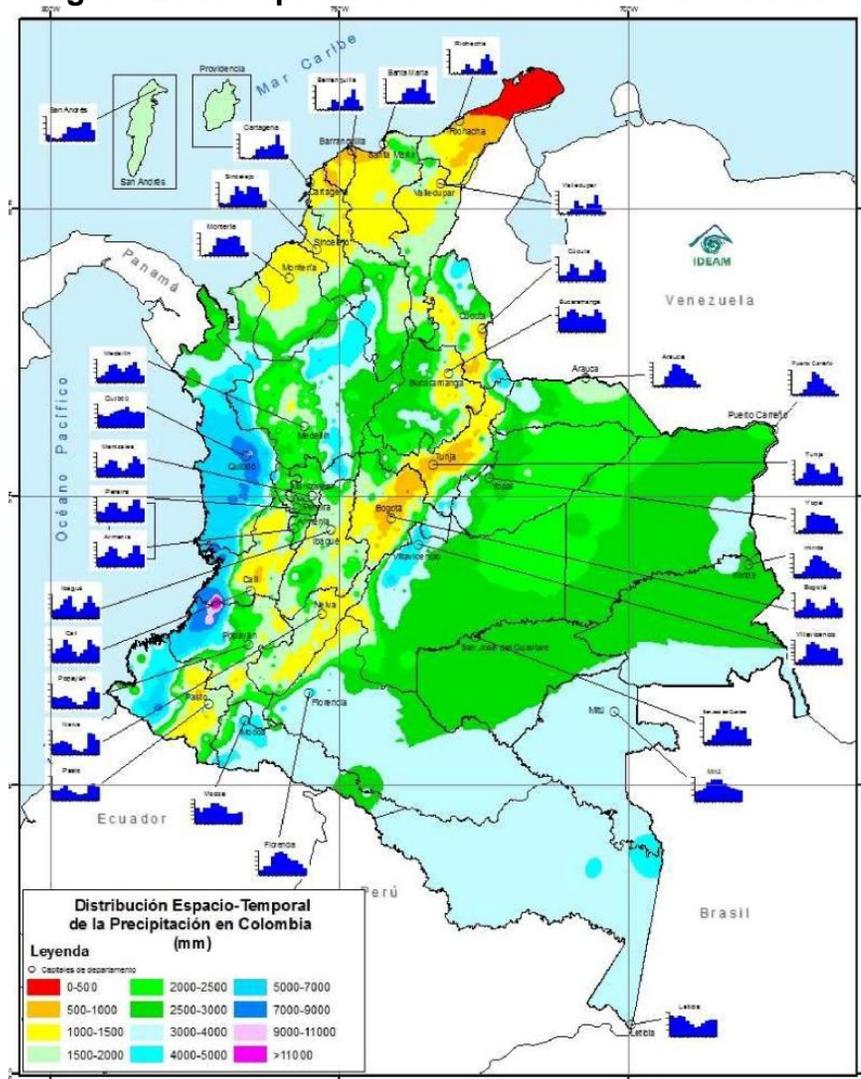
Fuente. ASSOCIAZIONE LIGURE DI METEOROLOGIA - LIMET FORUM. Temperatura Mínima Media Promedio Multianual temperatura [en línea]. Roma: La Asociación [citado 1 de mayo 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.centrometeoligure.it/index.php>>

Figura 23 Temperatura Máxima Media Promedio Multianual



Fuente. ASSOCIAZIONE LIGURE DI METEOROLOGIA - LIMET FORUM. Temperatura Máxima Media Promedio Multianual, temperatura [en línea]. Roma: La Asociación [citado 1 de mayo 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.centrometeoroligure.it/index.php>>

Figura 24 Precipitación Promedio anual en Colombia



Fuente. ASSOCIAZIONE LIGURE DI METEOROLOGIA - LIMET FORUM. Precipitación Promedio anual en Colombia, temperatura [en línea]. Roma: La Asociación [citado 1 de mayo 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.centrometeoroligure.it/index.php>>

9 TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL PASTO VETIVER

9.1 MATERIAL PARA LA SIEMBRA

El material para la siembra debe estar certificado por el vivero en el cual se adquiriera.

Asegurarse de que los retoños no sean tomados de macollas de vetiver que ha florecido o producido semillas (la floración disminuye el vigor en las plantas producidas vegetativamente).

Prepare los retoños

- Recorte la macolla de pasto vetiver maduro hasta una longitud de 300 mm. para un fácil manejo.
- Arranque la macolla madura de pasto vetiver

Figura 25 Macolla de pasto vetiver



Fuente. Vetivercol servicios y consultoría. Productos y servicios [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: < <http://www.vetivercolsas.com/productos> >

- Divida el matón en retoños individuales. Un matón maduro de pasto vetiver con un diámetro de 30 cm. proporcionará aproximadamente 25-30 retoños. Después de que los retoños se hayan dividido no deseche la capa de raíces sobrante. Esta puede subdividirse posteriormente y generar nuevas plantas.
- Recorte las raíces existentes de cada retoño a una longitud de 30 mm. Evite dañar la base del retoño ya que es aquí donde se desarrollarán nuevas raíces. Las raíces recortadas existentes no se regenerarán y se usarán solamente para anclar a la planta hasta que se desarrollen nuevas raíces.

Figura 26 Retoño individual de vetiver



Fuente. Vetivercol servicios y consultoría. Productos y servicios [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: < <http://www.vetivercolsas.com/productos>>

- Recorte el tallo del retoño hasta 100 mm.
- Coloque juntos los retoños preparados en manojos de alrededor de 20 plantas para facilitar el manejo en la ladera.

9.2 PREPARACIÓN DEL TERRENO ANTES DE LA SIEMBRA

El contratista debe dejar las laderas de corte y relleno en condiciones apropiadas para la siembra. El objetivo de preparar la ladera para la siembra es asegurarse de que la vegetación como el pasto vetiver tenga una mayor probabilidad de establecerse. Es necesario proteger la vegetación de fallas y salientes menores de la ladera. A menudo es difícil cortar la ladera hasta dejar una superficie pareja y recta. Es importante asegurar que:

Se retire todo el material suelto de la ladera.

El tope de la ladera no quede sobresaliendo. Todas las partes sobresalientes deben cortarse para formar un borde redondeado.

La base de la ladera debe protegerse de socavaciones.

9.3 SIEMBRA DE PASTO VETIVER EN EL SITIO

La siembra de pastos en laderas pretende crear una superficie de ladera fortalecida que sea resistente a la erosión del suelo. La siembra de pasto vetiver es un trabajo delicado y requiere cuidado y atención a los detalles a fin de maximizar la tasa de supervivencia de las plantas. El contratista deber asegurarse de que los retoños preparados se mantienen frescos y húmedos mientras estén en el sitio. Es importante no dejar los retoños expuestos a la luz del sol pues pueden secarse.

Siembre la ladera comenzando en la cima y siguiendo hacia abajo. Evite caminar sobre las plantas recién establecidas.

El ingeniero especificará al contratista el espaciamiento de las plantas acorde con la gravedad y tipo de la erosión. El espaciamiento correcto del pasto vetiver requiere encontrar un equilibrio entre el costo de la siembra y la efectividad de la siembra que se necesita.

El pasto vetiver sembrado en un espaciamiento cercano de 150 mm será más efectivo como barrera a la escorrentía superficial más pronto que las plantas sembradas con espaciamiento amplio. La selección de un espaciamiento apropiado será asunto de experiencia de campo para una situación en particular y tendrá que corresponder con el presupuesto disponible.

Figura 27 Siembra de pasto vetiver

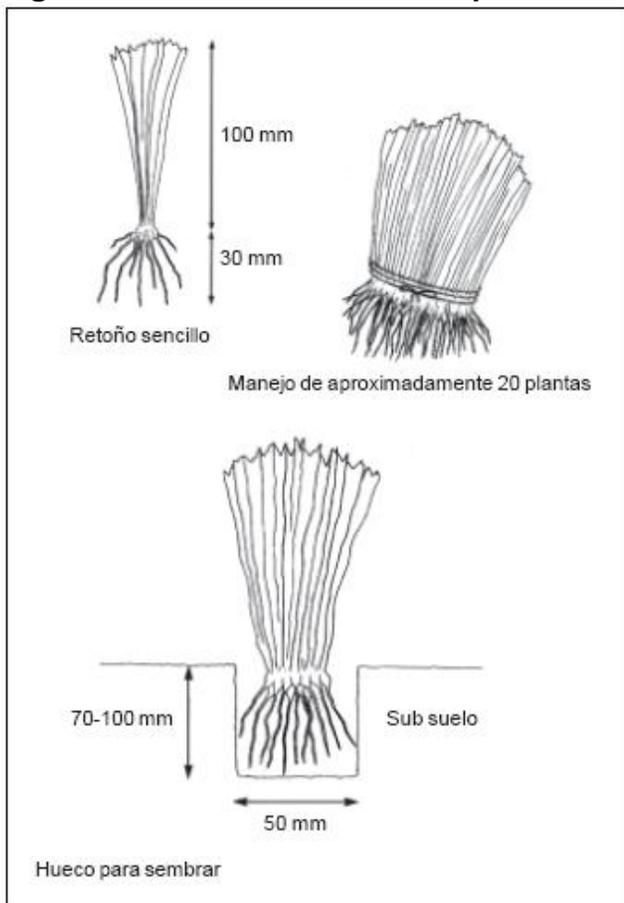


Fuente. Vetivercol servicios y consultoría. Productos y servicios [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: < <http://www.vetivercolsas.com/productos>>

En la figura “Espaciamiento sugerido” se dan orientaciones para el espaciamiento de las plantas de pasto vetiver. Estas orientaciones se basan en la gravedad del problema de erosión y el tipo de cobertura requerida. Las laderas son raramente uniformes ya sea en el ángulo de la pendiente o el tipo de suelo y por tanto el espaciamiento ideal podría variar. El espaciamiento también podría ser afectado por la presencia de piedras, rocas, y cambios en gradiente.

Usando un machete o una barra de metal, prepare un agujero de siembra de aproximadamente 70-100 mm. De profundidad y 50 mm de ancho. Coloque el retoño de pasto vetiver en el agujero preparado sin doblar las raíces.³²

Figura 28 Proceso de siembra pasto vetiver



Fuente. MASTER SERGIO J NAVARRO HUDIEL Manual de bioingeniería [en línea]. Bogotá: [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: < <http://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-bioingenieria.pdf>>

³² MASTER SERGIO J NAVARRO HUDIEL Manual de bioingeniería [en línea]. Bogotá: [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: < <http://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-bioingenieria.pdf>>

Figura 29 Espaciamiento sugerido

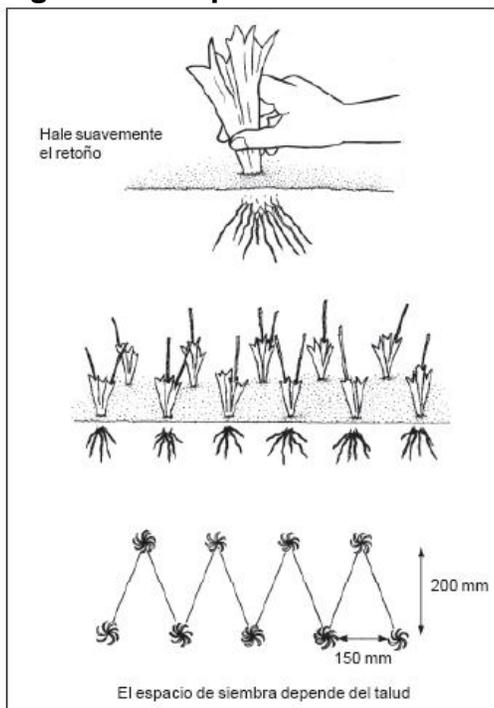
Uso	Material altamente erosionable no cohesionado en laderas escarpadas (<45°)	Erosión de riesgo mediano en laderas de 30-45°	Erosión de bajo riesgo, material altamente cohesionado en laderas < 30°
Curva a nivel	150 mm entre plantas en surcos dobles desalineados. 0.5 m entre surcos.	150 - 200 mm entre plantas en surcos dobles desalineados. 1.0 m entre surcos.	200 mm entre plantas en surcos dobles desalineados. 1.0 - 1.5 m entre surcos.
Cobertura total	150 mm entre plantas en surcos desalineados. 150 mm entre surcos que son continuos a través de toda la ladera.	150 mm entre plantas en surcos desalineados 200 mm entre surcos que son continuos a través de toda la ladera.	200 mm entre plantas en surcos desalineados 200 mm entre surcos que son continuos a través de toda la ladera.
Protección de hombros de camino	150 mm entre plantas en surcos desalineados. 150 mm entre surcos que son continuos a través de todo el hombro.	150 mm entre plantas en surcos desalineados. 200 mm entre surcos que son continuos a través de todo el hombro.	200 mm entre plantas en surcos desalineados. 200 mm entre surcos que son continuos a través de todo el hombro.
Protección del suelo / interfaz de ingeniería rígida	Surcos dobles desalineados siguen la interfaz entre la estructura y el suelo. Espaciamiento de 150 mm entre las plantas y 100 mm entre los surcos. Considerar usar más surcos desalineados.	Surcos dobles desalineados que siguen la interfaz entre la estructura y el suelo. Espaciamiento de 150 mm entre las plantas y 150 mm entre los surcos.	Surcos dobles desalineados que siguen la interfaz entre la estructura y el suelo. Espaciamiento de 200 mm entre las plantas y 100 mm entre los surcos.

Fuente. MASTER SERGIO J NAVARRO HUDIEL Manual de bioingeniería [en línea]. Bogotá: [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: < <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-bioingenieria.pdf>>

El suelo debe rellenarse y compactarse alrededor de la planta. La calidad del trabajo de siembra puede supervisarse mediante la siguiente prueba en el sitio: si el tallo herbáceo se jala suave pero firmemente entre el dedo pulgar y el índice, el retoño no debería de desprenderse del suelo. Si esto sucede, indica que el retoño no ha sido plantado correctamente

Después de sembrados, los retoños adquirirán un color café y aparentarán estar muertos. Esto es debido a que los tallos viejos no se regeneran. Sin embargo, se desarrollarán nuevos tallos a partir de la base del retoño. Después de aproximadamente dos semanas, y algunas veces un poco más, los retoños comenzarán a ponerse verdes. Deben hacerse verificaciones de supervivencia un mes después de sembrados. Toda planta que permanezca café después de este período puede considerarse perdida. Si más del 10% de las plantas no se regenera, es necesario reemplazarlas.³³

Figura 30 Esquema de siembra



Fuente. MASTER SERGIO J NAVARRO HUDIEL Manual de bioingeniería [en línea]. Bogotá: [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: < <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-bioingenieria.pdf>>

³³ MASTER SERGIO J NAVARRO HUDIEL Manual de bioingeniería [en línea]. Bogotá: [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: < <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-bioingenieria.pdf>>

9.4 MANTENIMIENTO

La poda debe realizarse dos o tres veces al año a una altura de 30 a 40 cm, el follaje podado debe ser colocado en la parte superior de la barrera o llevarlo al vivero y distribuirlo uniformemente como cobertura del suelo. Cuando la fertilización se hace a nivel de vivero debe usarse 150 Kg. de nitrógeno por hectárea/año.

En el caso de barreras vivas se pueden aplicar abonos en cantidades de 15 kg/100 metros lineales de barrera; así mismo, pueden usarse fertilizantes orgánicos.

Este mantenimiento se debe extender durante los primeros seis meses de la emradización, periodo necesario para garantizar el prendimiento de la Gramínea.³⁴

³⁴ Vetiver Bioingeniería. Vetiver Pasto [en línea]. Bogotá: El Blog [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: < <http://vetiverbioingenieria.blogspot.com/2011/05/vetiver-pasto.html>>

10 CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llegaron en el presente trabajo parten de los objetivos propuestos, que surgen por destacar la implementación de materiales que sean menos perjudiciales para el medio ambiente como las barreras vivas creadas a partir de la siembra adecuada de pasto vetiver, como herramienta empleada para la contención y disminución de la erosión en taludes.

En primera instancia se requiere que se den las condiciones óptimas para que el talud a estabilizar no falle en las primeras semanas mientras se establece y empieza a crecer la raíz que es un factor importante en la estabilización.

Debido a su masiva y profunda red radicular, el pasto vetiver es capaz de abatir la humedad del suelo y reducir, de esta forma, la presión del agua en los poros; por ende, puede incrementar la succión en condiciones de saturación y reducir el riego de fallar del talud.

Dependiendo de las condiciones de erosión que se presenten en la superficie del talud a estabilizar, el uso del pasto vetiver está condicionado al crecimiento de este para que actuara como follaje hasta obtener una capa que proteja el talud de las condiciones meteorológicas.

Los sistemas para el control de erosión, como es el caso del pasto vetiver, no previenen hundimientos, ni deslizamientos en suelos no cohesivos; por lo que antes de la aplicación de este sistema, el talud debe estar geotécnicamente estable.

En los suelos altamente erosionables con pendientes pronunciadas y con mucha precipitación pluvial, el vetiver puede reemplazar las soluciones más costosas que son de apariencia rudimentaria y que alteran considerablemente las características del medio ambiente como son los sistemas convencionales. Debido a que el vetiver es un material vivo, que actúa como un "muro viviente" para evitar la erosión y estabilizar las pendientes.

Por último, aunque en la actualidad no se ha intensificado el uso del pasto vetiver como sistema de estabilización, se considera que sería una gran solución a los problemas geotécnicos de estabilización de taludes, considerándose por otro lado como una alternativa ecológica con un mínimo de inversión, que además ayuda a la conservación del medio ambiente, sin embargo en Colombia radica una cultura en la que se prefiere aplicar sistemas correctivos y no preventivos con lo cual se aumentan los costos de rehabilitación que se generan para mitigar los deslizamientos.

BIBLIOGRAFÍA

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES DE MEXICO – CENAPRED. Inestabilidad de Laderas. [En línea]. México: La Empresa [citado 21 abril 2014]. Disponible e Internet: <URL: <http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/PDF/SerieFasciculos/fasciculoladera-s2.pdf>>.

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS. Movimientos de terrenos [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 21 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.proteccioncivil.org/movimientos-del-terreno>>.

ESCOBAR DUQUE, Gonzalo. Manual de geología para ingenieros. Manizales: Universidad nacional de Colombia, 2003. 234 p.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Avance técnico 256 Cenicafé [en línea]. Bogotá: La Federación [citado 21 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.oocities.org/biotropico_andino/cap2.pdf>

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS - FOPAE. Deslizamientos – Generalidades [en línea]. Bogotá: FOPAE [citado 22 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.fopae.gov.co/portal/page/portal/FOPAE_V2/Mapa%20Gestion%20del%20Riesgo%20Bogota/Deslizamientos/Generalidades>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio tesis y otros trabajos de grado. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008. 36 p.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA IDEAM. Distribución porcentual de la intensidad de degradación de los suelos y tierras de Colombia por erosión, remoción en masa y/o sedimentación [en línea]. Bogotá: El IDEAM [citado 22 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.ideam.gov.co/indicado-res/suelos2.htm>>.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Productos enrollados para el control de erosión. Bogotá: INVIAS, 2007. 65 p.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Protección vegetal de taludes. Bogotá: INVIAS, 2007. 123p.

KALIPEDIA. Sedimentación [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 22 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://co.kalipedia.com/ecologia/tema/sedimentacion.html?x=20070417klpcnatun_113.Kes &ap=2.>.

PÁEZ TORRES, Magda. Cambios climáticos principal causa de deslizamientos. En: UN Periódico, Bogotá. 12, junio, 2004. sec. 2. p. 11 col. 2

PAVCO. Control de erosión y revegetación [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 22 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.geosoftpavco.com/control1.html>>

REVISTA CONSTRUIR. Empleo de geosintéticos en la estabilidad de taludes [en línea]. Bogotá: La Revista [citado 22 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.revistaconstruir.com/obra-gris/geosinteticos/109-empleo-de-geosinteticos-en-la-estabilidad-de-taludes>>

REVISTA ELEMENTOS. Octubre-diciembre, 2011. Vol. 18, no. 84.

SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA. Relación de los deslizamientos y la dinámica climática en Colombia [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 22 abril 2014]. Disponible en Internet: <http://koha.ideam.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=39520&shelfbrowse_itemnumber=38657>.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO PARA EL SISTEMA NACIONAL DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia [en línea]. Bogotá: SIGPXAD [citado 22 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.sigpad.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf>>

SLIDESHARE. Estructuras de contención [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 23 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.slideshare.net/johannaximena1/muros-de-contención>>

SUAREZ DÍAZ, Jaime. Control de erosión en zonas tropicales - Caracterización de los movimientos. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2001. 564 p.

TECTOCLUB. Tectónica de Placas aplicada a Colombia [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 21 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://geotectoclub.wikispaces.com/4.0+Tectonica+de+placas+aplicada+a+Colombia>>.

TODO COLOMBIA ES MI PASIÓN. Geografía Colombiana [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 21 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: www.todocolombia.com/geografia/geografiacolombiana.html>.

UNIVERSIDAD DE CASTILLA. Subducción [en línea]. Castilla: La Universidad [citado 24 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.uclm.es/profesorado/egcardenas/subduccion.htm>>.

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA. Erosión [en línea]. Montevideo: La Universidad [citado 24 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/EROSION.pdf> >

UNIVERSIDAD DE MICHOACAN. Erosión en Ríos [en línea]. México: La Universidad [citado 25 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.fic.umich.mx/~statiana/EROSION.pdf>>

UNIVERSIDAD MARIANA PASTO-COLOMBIA. Escorrentía superficial [en línea]. Pasto: La Universidad [citado 27 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.umariana.edu.co/gia/pdf/Clases/Clase%208.%20Escorrentia%20Superficial.pdf>>.

Amenazas naturales de los andes de Colombia [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 25 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1579/1/amn-and-colombia.pdf>>.

WIKIPEDIA. Gavión [en línea]. Bogotá: Wikipedia [citado 27 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Gavi%C3%B3n>>

Litología [en línea]. Bogotá: Wikipedia [citado 29 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Litolog%C3%ADa>>

Remoción en masa [en línea]. Bogotá: Wikipedia [citado 29 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Remoci%C3%B3n_de_masa>

Zona Intertropical [en línea]. Bogotá: Wikipedia [citado 29 abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_intertropical>.

SURAPOL, sanguankaeo. Sistema vetiver sostenible para el control de erosión y estabilización de taludes en carreteras en Tailandia [en línea]. Tailandia: Departamento de carreteras [citado 30 de abril 2014]. Disponible en Internet: <URL: https://attachment.fsbx.com/file_download.php?id=273256436141627&id=ASsKrz4Qs_U-XiOEwBXVOo9MWb7YroowLYfgELyPAm5FaSJSAPnkMiA3z3D38WLI8gE&inline=1&ext=1399077002&hash=AStiWmVGv6-S9V5z f.>

THE VETIVER NETWORK, INTERNATIONAL BLOG. VETIVER GRASS. [En línea]. Bogotá: [citado 30 de abril 2014]. Disponible en internet; <<http://vetivernetinternational.blogspot.com/>>.

ASSOCIAZIONE LIGURE DI METEOROLOGIA - LIMET FORUM. Temperatura Mínima Media Promedio Multianual temperatura [en línea]. Roma: La Asociación [citado 1 de mayo 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.centrometeoligure.it/nindex.php>>

MASTER SERGIO J NAVARRO HUDIEL Manual de bioingeniería [en línea]. Bogotá: [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <<http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-bioingenieria.pdf>>

Vetiver Bioingeniería. Vetiver Pasto [en línea]. Bogotá: El Blog [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <<http://vetiverbioingenieria.blogspot.com/2011/05/vetiver-pasto.html>>

Vetivercol servicios y consultoría. Productos y servicios [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 11 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <<http://www.vetivercolsas.com/productos>>

The Vetiver Network, International Blog. El Pasto Vetiver En La Estabilización De Pendientes Y El Control De La Erosión. [En línea]. Bogotá: [citado el 10 de mayo de 2014]. Disponible en internet; <http://www.vetiver.org/LAVN_elpasto.htm>

DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL Y EMERGENCIAS. Movimientos de terrenos [en línea]. Bogotá: La Empresa [citado 10 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.proteccioncivil.org/movimientos-del-terreno>>.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Erosión de suelos [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_2.html>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Agricultura sostenible [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 mayo, 2014]. Disponible en Internet: <URL: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect8/lect8_2.html>