

VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE FAJINAS PARA LA  
ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN COLOMBIA PERÍODO I, AÑO 2015.

DIEGO ALEJANDRO ROMERO CASTRO  
WILSON GALVIZ ROJAS



**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO DE GRADO  
BOGOTÁ  
2015

VIABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE FAJINAS PARA LA  
ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN COLOMBIA PERÍODO I, AÑO 2015.

DIEGO ALEJANDRO ROMERO CASTRO  
WILSON GALVIZ ROJAS

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  
2015



## 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

Damos gracias a Dios por haberme dado unos padres de buen corazón, gracias a ustedes en especial a nuestra tutora la geóloga Alejandra Rivera por el esfuerzo y colaboración durante este proyecto.

**WILSON GALIVIZ ROJAS  
DIEGO ALEJANDRO ROMERO**

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	1
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	3
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	5
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	5
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	5
3. OBJETIVOS.....	6
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
3.2 OBJETIVO ESPECIFICO .....	6
4. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	7
4.1 TEMÁTICA.....	7
4.2 TEMPORAL.....	7
5. MARCO DE REFERENCIA.....	8
5.1 MARCO TEÓRICO .....	8
5.1.1 El clima colombiano.....	8
5.1.2 Factores geográficos .....	8
5.1.2.1 Latitud .....	8
5.1.2.2 Altitud .....	8
5.1.3 Factores atmosféricos .....	9
5.1.4 Temperatura .....	9
5.1.4.1 Humedad ambiental .....	9
5.1.4.2 Vientos .....	10
5.1.5 Grandes zonas climáticas de Colombia .....	10
5.1.5.1 Selva tropical húmeda y lluviosa .....	10
5.1.5.2 Clima tropical de sabana, semi-humedo .....	11
5.1.5.3 Clima tropical de estepa.....	11
5.1.5.4 Clima tropical de desierto.....	11
5.1.5.5 Clima tropical de montaña.....	11
5.1.5.6 Piso térmico cálido .....	12
5.1.5.7 Piso térmico templado.....	12
5.1.5.8 Piso térmico páramo y zonas glaciales .....	12
5.1.6 Las regiones naturales.....	12
5.1.6.1 Región Amazónica.....	12
5.1.6.2 Región Andina.....	13

5.1.6.3 Región Caribe.....	13
5.1.6.4 Región Insular.....	13
5.1.6.5 Región Orinoquía.....	13
5.1.6.6 Región Pacífica.....	14
5.1.7 El Clima en Colombia.....	14
5.1.8 Estabilidad de taludes.....	15
5.1.9 Señales del movimiento.....	16
5.1.9.1 Grietas de tracción en carreteras o en los taludes.....	16
5.1.9.2 Hundimiento de subrasante.....	16
5.1.9.3 Detritos en la vía.....	17
5.1.9.4 Abultamiento sobre o bajo la carretera.....	17
5.1.9.5 Cambios de forma.....	18
5.1.9.6 Deformación de estructuras adyacentes.....	18
5.1.9.7 Drenaje deficiente de agua superficial.....	19
5.1.9.8 Drenaje deficiente de agua subsuperficial.....	20
5.1.9.9 Erosión.....	20
5.1.10 Tipos de movimiento.....	21
5.1.10.1 Caídas.....	21
5.1.10.2 Volcamientos.....	21
5.1.10.3 Deslizamiento.....	22
5.1.10.4 Movimientos rotacionales o hundimientos:.....	22
5.1.10.5 Deslizamientos trasnacionales:.....	23
5.1.10.6 Movimientos lentos, de reptación o flujo plástico:.....	23
5.1.10.7 Flujos.....	24
5.1.10.8 Movimientos complejos.....	25
5.1.11 Obras de estabilización.....	25
5.1.11.1 Reconformación.....	25
5.1.11.2 Tendido del talud.....	25
5.1.11.3 Construcción de bermas de suelo y roca en la pata del talud.....	27
5.1.11.4 Construcción de trincheras estabilizantes.....	27
5.1.11.5 Estructuras de contención.....	29
5.1.11.5.1 Diques en tierra o roca.....	30
5.1.11.5.2 Muros de gaviones.....	30
5.1.11.5.3 Alambre:.....	32
5.1.11.5.4 Mallas.....	32
5.1.11.5.5 Material de relleno.....	32

5.1.11.5.6 Muros de gravedad en concreto.....	33
5.1.11.5.7 Muros de Concreto Ciclópeo.....	33
5.1.11.5.8 Muros de encofrado o de cribas.....	34
5.1.11.5.9 Material de relleno.....	35
5.1.11.5.10 Muros anclados.....	35
5.1.11.6 Anclajes en suelo y roca.....	36
5.1.11.7 Anclajes en roca.....	36
5.1.11.8 Pantallas ancladas.....	37
5.1.11.9 Suelo empernado o sistema de clavetaje.....	37
5.1.11.10 Pantalla protectora:.....	38
5.2 Técnicas de bioingeniería.....	39
5.2.1 Principios básicos.....	39
5.2.1.1 Topografía y exposición.....	40
5.2.1.2 Geología y edafología.....	40
5.2.1.3 Botánica:.....	40
5.2.1.4 Hidrología.....	40
5.3 MARCO CONCEPTUAL.....	41
6. PROPIEDADES DE ESTABILIZACIÓN DE LAS FAJINAS.....	43
6.1 FAJINAS.....	44
6.1.1 Materiales y preparación de las fajinas.....	47
6.1.2 Instalación.....	47
7. USO DEL FAJINAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN OTROS PAISES.....	49
7.1 España.....	49
8. ADAPTABILIDAD EN EL CLIMA COLOMBIANO:.....	50
9. IMPLEMENTACION EN COLOMBIA.....	56
9.1 LA EROSION CONSUME GRAN PARTE DEL TERRITORIO COLOMBIANO.....	59
10. VENTAJAS DEL USO DE FAJINA PARA EL CONTROL DE TALUDES.....	61
11. CONCLUSIONES.....	62
BIBLIOGRAFIA.....	63



## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Promedios anuales de lluvia y temperatura (°C), en Colombia.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2 Hundimientos de la subrasante .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3 Abultamiento en alguno de los elementos de la carretera .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4 Postes inclinados debido a movimientos del terreno .....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5 Ejemplos de estructuras deformadas por la acción de la.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6 Fractura de cunetas revestidas.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 7 Ejemplos de problemas de drenaje de aguas subsuperficiales .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8 Caídas .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 9 Volcamiento .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 10. Deslizamiento rotacional.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 11. Deslizamiento traslacional .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 12 Tipos de flujos.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 13 Tendido de un talud sobre-empinado materiales cerca de la pata ...</i>	<i>26</i>
<i>Figura 14 Tendido del talud de corte en meteorizados y depósitos de ladera ..</i>	<i>26</i>
<i>Figura 15 Componentes de las bermas .....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 16. Sección transversal de drenaje interno por trincheras con relleno de piedra.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 17 Terraceo de un talud inestable .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 18 Muro de gravedad en roca.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 19 Principales componentes de un muro de gaviones.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 20 Muro en concreto sin refuerzo .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 21 Componentes principales de un muro de cribas.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 22 Componentes principales de un muro en tierra reforzada .....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 23 Componentes de un muro anclado.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 24 Anclajes en roca .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 25 Componentes de un muro de suelo empernado.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 26 Instalación de las fajinas en los taludes.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 27. Mapa climático de Colombia .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 28. Temperatura Media Promedio multianual .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 29. Temperatura Mínima Media Promedio Multianual temperatura .....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 30. Temperatura Máxima Media Promedio Multianual.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 31. Precipitación Promedio anual en Colombia .....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 32. Frente Mocoa, sector puente Campucana. Chequeo de pendiente en talud K10+300 M.I.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 33. Frente Mocoa, sector Campucana. Inspección talud empradizado, K8+100 M.I. ....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 34. Frente San Francisco, sector Puente Putumayo. Inspección taludes y terrazas de la explanación sector K4+500.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 35.: ARCHIVO/ EL TIEMPO.....</i>	<i>60</i>

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Aplicación generales en bioingeniería de suelos.....</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 2 Factores inherentes a la estabilidad de taludes .....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 3 Dimensiones de los tipos de gaviones más empleados en nuestro medio .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 4 Componentes de la planta y sus funciones.....</i>	<i>44</i>

## INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la gran 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.

Por esto es conveniente conocer cómo se pueden tratar, a continuación se presentara las fajas como una alternativa de la bioingeniería, la cual se usa como una solución a los problemas de estabilización, erosión y deslizamientos en taludes.

La vegetación juega un importante papel en el control de la erosión, la estabilización y la integración ecológica y paisajística de los taludes; sin embargo, las características de éstos, normalmente, son poco adecuadas, cuando no totalmente adversas a su implantación. Con estas condiciones, el éxito de la revegetación depende de que se conozcan todos los factores que influyen y condicionan el establecimiento y desarrollo de la vegetación, y se apliquen las técnicas más adecuadas para corregirlos. Es necesario elegir las plantas más adecuadas a las condiciones del talud y a los objetivos de la revegetación; mejorar, en lo posible, las características morfológicas y de sustrato del talud; emplear la técnica de implantación más adecuada; y realizar labores de mantenimiento hasta que la vegetación implantada sea autosuficiente.

Bioingeniería del suelo y estabilización biotécnica son términos que hacen referencia al conjunto de técnicas de tratamiento de taludes en las que se utiliza la vegetación como elemento principal de estabilización y control de la erosión. En función de la utilización o no de elementos estructurales inertes y de la importancia relativa de la vegetación como elemento de estabilización, estas técnicas se clasifican en:

-“Construcciones vivas, que engloban las técnicas convencionales de revegetación, junto con otras más específicas en las que se utilizan esquejes de especies leñosas -ramas y tallos, fundamentalmente- para desarrollar una cubierta vegetal estable y autosuficiente que actúe como un componente estructural para el refuerzo y estabilización de los taludes”.<sup>1</sup>

-“Construcciones mixtas, en las que se utilizan elementos vivos e inertes de forma combinada. Los elementos inertes proporcionan en un primer momento

---

<sup>1</sup> MATAIX, Carmen. Técnicas de revegetación de taludes. [en línea]. Bogotá: [citado 9 noviembre 2014]. Disponible en Internet: <URL [http://www2.uah.es/tiscar/Complem\\_EIA/cap-X-189-214.PDF](http://www2.uah.es/tiscar/Complem_EIA/cap-X-189-214.PDF)

resistencia frente a los procesos erosivos y de inestabilidad, y progresivamente su importancia como agentes de estabilización va disminuyendo al desarrollarse la cubierta vegetal”.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> MATAIX, Carmen. Técnicas de revegetación de taludes. [en línea]. Bogotá: [citado 9 noviembre 2014]. Disponible en Internet: <URL [http://www2.uah.es/tiscar/Complem\\_EIA/cap-X-189-214.PDF](http://www2.uah.es/tiscar/Complem_EIA/cap-X-189-214.PDF)

## 1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En Colombia se ha manejado la protección y mantenimiento de taludes con métodos convencionales pero los problemas de estabilización, erosión, y deslizamiento continúan, por lo cual esta investigación se basa en utilizar la bioingeniería como una estrategia para el control a estos problemas, se enfocara en la utilización de fajinas que permita un balance ambiental, de calidad y de costos, a fin de tener una alternativa que garantice un mejoramiento en las vías de nuestro país.

Vías como la de Bogotá–Villavicencio y la de Bogotá–Villeta sufren constantes deslizamientos que, si bien son atribuidos a la lluvia, tienen causas de fondo como la presencia de rocas blandas en la zona. Este es un fenómeno que va más allá de los aguaceros y responde a un proceso físico acumulado.

Investigadores de la Universidad Nacional han estudiado la degradación de estas rocas, de las cuales se había hecho poca investigación científica en Colombia. Hasta el momento, han encontrado que una de las causas de su deterioro son los cambios drásticos de temperatura, de sequía a invierno.

Las rocas blandas se forman por procesos de acumulación de sedimentos y capas o partículas muy finas. Por su complejidad se deforman rápidamente.<sup>3</sup>

De acuerdo con lo mencionado en el artículo uno de los problemas de deslizamiento en las vías de nuestro país es la conformación de suelo con materiales muy blandos y lodosos por lo cual podemos utilizar herramientas y métodos para poder controlar este problema, La utilización de fajinas en una alternativa de la bioingeniería para poder controlar y prevenir muchos factores presentado en los taludes, como lo podemos demuestra en la siguiente tabla:

---

<sup>3</sup> PÁEZ TORRES, Magda. Cambios Climáticos principal causa de deslizamientos. [en línea]. Bogotá: [citado 12 agosto 2014]. Disponible en Internet: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/cambios-climaticos-principal-causa-de-deslizamientos.html>

Tabla 1 Aplicación generales en bioingeniería de suelos

VENTAJAS (X) DEVENTAJAS ( )	Hidrosiembra con semillas (en suelo) ó HidroMulch (en roca)	Barreras de vegetación con potes y matas	Barreras Vivas con Estacas	Contornos linderos Wattling	Fajinas
Control de erosión por lluvia: El follaje intercepta las gotas y protege la superficie de la pérdida de partículas de suelo	X	X	X	X	X
Control de erosión contra surcos: Las raíces amarran la superficie de partículas de suelo	X	X	X	X	X
Control de erosión por escurrimiento del agua: Las plantas se encargan de detener el arrastre de las partículas de suelo contra la escorrentía	X				X
Control de erosión por viento: La vegetación con plantas reduce la exposición del suelo al viento y por ende su transporte con el viento.	X	X	X	X	X
Control de erosión por congelamiento: Las raíces restringen el movimiento del suelo.	X	X	X	X	X
Control Inmediato de la erosión y estabilidad de taludes y terraplenes o cuerpos de tierra	X				
Estabilización de taludes: Suelo reforzado vs. Resistencia a deslizamientos poco profundos		X	X	X	X
Estabilización de taludes: Las plantas ayudan a controlar el efecto del descongelamiento en suelos al final de la estación de invierno.		X	X	X	X
Estabilización de taludes: Resistencia a los deslizamientos profundos en laderas.					
Bajo costo inicial de mantenimiento	X				
Bajo costo de mantenimiento a largo plazo	X	X	X	X	X
Impacto generado por la construcción del sistema biotécnico	X	X	X	X	
Costo de construcción relativamente bajo	X	X	X	X	X
Capacidad de combinación con otros sistemas de bioingeniería	X	X	X	X	X
Estética / Beneficio para vida animal salvaje		X	X	X	X
Prevención de la erosión y protección en líneas costeras contra la inestabilidad por el efecto generado por las olas.					

Fuente.: CENTENO PULIDO, Francisco Antonio .XVII Seminario Venezolano de Geotecnia Del Estado del Arte a la Práctica. Disponible en internet [http://www.centenorodriguez.com/files/Trabajo\\_de\\_FCP\\_SVDG\\_XVII\\_Seminario\\_Nov\\_2002.pdf](http://www.centenorodriguez.com/files/Trabajo_de_FCP_SVDG_XVII_Seminario_Nov_2002.pdf) <

A pesar de ser una técnica que es muy útil para el control de la erosión, 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.

## 2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Colombia es un país en vía de desarrollo, la adecuación de nuevas rutas viales, marítimas y aeroportuarias están en un crecimiento significativo actualmente. Uno de los grandes problemas de la ingeniería es la complejidad topográfica presente en nuestro territorio, por lo cual para construir nuevas formas de comunicación es necesaria la intervención en la geografía y esto nos lleva a problemas posteriores como son los deslizamientos de tierra.

Nuestro país utiliza métodos convencionales que lo único que hacen es generar una solución inmediata provocando un daño ecológico con costos relativamente altos, y por esta razón se hace necesario proponer nuevos métodos sostenibles, económicos efectivos y amigables con el medio ambiente. Las fajinas es un método que utiliza la vegetación para el control y prevención de la estabilidad en los taludes, por ende es una alternativa viable para los problemas presentes en nuestro territorio, ya que la biodiversidad de climas, flora y de suelos hace que este método sea viable.

### 2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

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

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Plantear una nueva alternativa viable para el control y prevención de deslizamientos de tierra para nuestro país que sean relativamente económico y amigable con el medio ambiente

#### 3.2 OBJETIVO ESPECIFICO

Analizar un método en el cual las variables a usar sean viables para nuestro territorio colombiano teniendo en cuenta factores tales como: clima, suelo tipo de falla.

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

Contrastar las ventajas económicas y ambientales que tiene la implementación de fajinas y dar una comparación con los sistemas convencionales utilizados actualmente en Colombia.



## 4. ALCANCES Y LIMITACIONES

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

### 4.1 TEMÁTICA

Este trabajo investigativo se centra principalmente en destacar las fajinas como método para el control y prevención de deslizamientos destacando los beneficios que conlleva al utilizarlo y como se podrían aplicarlo en el territorio Colombiano en comparación de los métodos ya utilizados en nuestro país.

### 4.2 TEMPORAL

Esta investigación se desarrolla en el lapso comprendido en el periodo académico de la universidad, el cual tratara de dar una opinión, acerca de las fajinas como una alternativa a los problemas sobre la prevención de deslizamientos de tierra.

En esta investigación se espera llegar:

- 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 de las fajinas en Colombia, frente al uso de otros sistemas

## 5. MARCO DE REFERENCIA

### 5.1 MARCO TEÓRICO

5.1.1 El clima colombiano. En Colombia no hay estaciones como en otros países, pero el relieve permite poseer tierras con distintas temperaturas.

Colombia, por estar situada en la Zona Tórrida, debería tener clima tropical, de temperaturas elevadas durante todo el año. Pero la conjugación de una serie de factores como sus cordilleras y montañas de acuerdo con la altura, le dan variedad de climas que influyen en la vegetación y en la fauna. Se pueden agrupar estos factores en dos tipos fundamentales, así: factores geográficos y atmosféricos.<sup>4</sup>

#### 5.1.2 Factores geográficos

5.1.2.1 Latitud. Colombia está atravesada en su extremo sur, por la línea ecuatorial y su territorio se extiende hasta los 12°30'40" de latitud norte y los 4°13'30,5" de latitud sur respectivamente, de dicha línea. Esto equivale a decir que el territorio está ubicado en su mayor parte en el hemisferio norte de la Tierra y a través de toda su extensión en la zona tórrida, así denominada, por caer sobre ella los rayos solares en forma vertical, durante todo el año. Es por esta razón la región más ardiente del globo, desde el punto de vista de la latitud.<sup>5</sup>

5.1.2.2 Altitud. Es el factor geográfico que logra contrarrestar y anular las características climáticas derivadas de la latitud. Si el territorio fuera completamente llano, se tendría durante todo el año una temperatura uniforme: en extremo caliente.

Pero la existencia de la cordillera de los Andes sobre el territorio colombiano, ocasiona todos los climas de la Tierra, (la variación de la temperatura disminuye 1°C por cada 180m que la cordillera asciende). Por esta causa se tiene en Colombia tierras desde las más ardientes (secas o extremadamente húmedas), hasta los glaciales (con precipitaciones en forma de nieve), pasando por los templados, de acuerdo con la altitud relativa sobre el nivel del mar. Esto da lugar a los llamados pisos térmicos.

La orientación del relieve determina así mismo la mayor o menor influencia de otros factores, tales como las grandes masas de agua, representadas por los océanos Atlántico y Pacífico y por los vientos que soplan sobre ellos. Es así, como la cordillera Occidental, por ejemplo, impide el paso de los vientos del

---

<sup>4</sup>Clima de Colombia [en línea]. Bogotá: [citado 1 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://vivacolombialinda.galeon.com/clima.html>>.>

<sup>5</sup> Clima de Colombia [en línea]. Bogotá: [citado 1 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://vivacolombialinda.galeon.com/clima.html>>.>

Pacífico al interior, depositando su humedad en dicha costa y haciendo de ella una de las más lluviosas del planeta. El caso contrario se observa con los vientos alisios del noreste, los cuales penetran con facilidad por los valles de los ríos Magdalena y Cauca; con los vientos alisios del sureste, los cuales, debido a la baja topografía de la Amazonía, penetran incluso hasta la sabana de Bogotá. La cordillera Oriental, por su parte, impide también que los vientos procedentes del sur se sientan en los valles y montañas occidentales.

Contrariamente, el relieve llano de la península de La Guajira no puede detener los vientos y las nubes que vienen desde el noreste y siguen su viaje hacia el interior de Colombia. La Guajira, por ello, es una región tan seca.

El relieve montañoso da lugar, en Colombia a diversas regiones y subregiones climáticas, en cada una de las cuales influyen factores locales que las caracterizan y diferencian.<sup>6</sup>

### 5.1.3 Factores atmosféricos

5.1.4 Temperatura. Es en términos generales, bastante pareja a través del año, en un mismo lugar, como consecuencia de la ubicación tropical del territorio y de la radiación solar que es uniforme. Los grados del calor atmosférico varían sin embargo, sustancialmente, de un punto a otro, de acuerdo con la mayor o menor altitud sobre el nivel del mar, oscilando entre 0°C y 35°C respectivamente en los casos extremos.<sup>7</sup>

5.1.4.1 Humedad ambiental. En Colombia es bastante diversa y obedece este fenómeno a las características tan especiales que presentan cada una de sus regiones y localidades afectadas por factores tales como la altura, la temperatura, la vegetación, las masas de agua próximas o la ausencia de ellas, los vientos planetarios y los locales y las lluvias.

Las regiones de Colombia donde se registra la mayor pluviosidad, coincidiendo con un altísimo grado de humedad atmosférica, son las costas selváticas del Chocó, donde el promedio de lluvias es de 12.000 mm por lo cual figuran entre las más elevadas del mundo; la Amazonía y la Orinoquía, le siguen en su orden. La circunstancia opuesta en lo que a precipitaciones acuosas se refiere, se encuentra en Uribía (Guajira), donde el pluviómetro señala escasos 333 mm al año. En épocas de sequía, la humedad registrada en algunos lugares del valle del Cauca, la sabana de Bogotá y Girardot es aún inferior.<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> Clima de Colombia [en línea]. Bogotá: [citado 1 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://vivacolombialinda.galeon.com/clima.html>>.

<sup>7</sup> Clima de Colombia [en línea]. Bogotá: [citado 1 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://vivacolombialinda.galeon.com/clima.html>>.

<sup>8</sup> Clima de Colombia [en línea]. Bogotá: [citado 1 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://vivacolombialinda.galeon.com/clima.html>>.

5.1.4.2 Vientos. Los vientos se producen principalmente debido a las diferencias de presión y de temperatura. De los distintos tipos de viento, los más importantes para Colombia son los alisios. La zona por donde pasa la línea del ecuador es la más cálida de la Tierra y por consiguiente, un área de bajas presiones.

Los vientos alisios son los que soplan desde las regiones de altas presiones hacia la zona ecuatorial.

Los vientos alisios del noreste llevan humedad hacia la región colombiana situada al sur del ecuador.

Los vientos alisios del sureste llevan humedad y calor hacia el territorio de Colombia situado en el hemisferio norte.

Los vientos alisios del noroeste soplan en todo el territorio y llevan abundantes lluvias.

Los vientos del oeste modifican el clima de la llanura del Pacífico. Soplan desde el océano y al tropezar con las serranías y la ladera oeste de la cordillera Occidental, se producen abundantes lluvias en toda la región costera, durante el año entero.<sup>9</sup>

5.1.5 Grandes zonas climáticas de Colombia. Los principales tipos de clima predominantes en Colombia y su ubicación en las llamadas zonas climáticas, son los siguientes:

5.1.5.1 Selva tropical húmeda y lluviosa. Es este uno de los climas más rigurosos, no sólo del país, sino también de la Tierra, pues en él se dan los extremos tanto de temperatura, siempre por encima de 27°C, como de humedad, traducida en permanentes y abundantes lluvias.

Las selvas chocoanas del Catatumbo y las de la cuenca Amazónica; la región central del Magdalena, la Costa Pacífica, la vertiente oriental de la cordillera Oriental en su borde exterior, la serranía de Perijá y las estribaciones de las cordilleras Occidental y Central donde comienza la llanura del Caribe poseen este clima inhóspito.

---

<sup>9</sup> Clima de Colombia [en línea]. Bogotá: [citado 1 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://vivacolombialinda.galeon.com/clima.html>>.>

5.1.5.2 Clima tropical de sabana, semi-humedo. De temperaturas siempre por encima de los 24°C con una fluctuación hasta los 27°C. Su pluviosidad es sin embargo inferior a la que caracteriza a la zona antes descrita, pues posee una época de lluvias y una de sequía, las cuales se distribuyen en periodos de seis meses. La mitad seca del año corresponde al paso de los vientos alisios del noreste.

En Colombia podemos ubicar a los Llanos Orientales, buena parte de la llanura del Caribe (zonas costeras), el final de las estribaciones de la cordillera Occidental (en el norte) y extensas porciones de los valles de los ríos Cauca y Magdalena, en especial en su curso medio y bajo.

5.1.5.3 Clima tropical de estepa. Las altas temperaturas, la escasa vegetación representada en pastos poco desarrollados y las precipitaciones mínimas, son las características sobresalientes de clima tropical de estepa. Participa del clima desértico durante los 5 meses de sequía.

Este clima corresponde a parte de las sabanas de Bolívar y del norte de La Guajira, a la parte central del llano (ríos Meta y Guaviare) y a las partes altas de las cordilleras, bordeadas de montañas que impiden el paso de los vientos húmedos y también a regiones bajas en los cañones montañosos.

5.1.5.4 Clima tropical de desierto. Este es el clima de la alta Guajira, caracterizado por sus elevadas temperaturas, escasas precipitaciones de sólo 802 mm anuales en promedio debido al relieve llano. Es la región menos lluviosa de Colombia (durante más de 7 meses al año no llueve). Esto se debe especialmente a su ubicación de frente a los vientos alisios del noreste (a barlovento), los cuales al absorber la humedad ambiental y no encontrar a su paso barreras montañosas dónde depositarla, resecan la tierra. Las temperaturas sobrepasan los 29 °C.

5.1.5.5 Clima tropical de montaña. Los climas de montaña son propios de la región andina. En las cordilleras, mesetas y valles de los Andes y en la Sierra Nevada de Santa Marta, el clima está determinado por la altura. Las diferencias en el relieve dan lugar a los denominados pisos térmicos o niveles hasta los cuales predomina un tipo de clima; se distinguen cuatro pisos térmicos:

5.1.5.6 Piso térmico cálido. Comprende las tierras calientes entre 0 y mil metros de altura sobre el nivel del mar con una temperatura superior a los 24 grados centígrados (24°C). El clima presenta características similares al de las llanuras ecuatoriales y tropicales: lluvias abundantes y altas temperaturas, que suelen llegar a promedios anuales superiores a los 29°C como ocurre en el valle de Magdalena.

Las selvas predominan en varios tramos de este valle y en las laderas de la cordillera Occidental y los bosques menos húmedos en el valle del Cauca.

5.1.5.7 Piso térmico templado. Propio de las tierras altas, entre los 2.000 y 3.000m de altura que es la región del bosque andino o bosque de niebla, con una temperatura de 10 a 17°C y las lluvias alcanzan los 2000 mm por año.

5.1.5.8 Piso térmico páramo y zonas glaciales. Corresponde a terrenos muy altos entre los 3.000 y 4.000 m de altura; en dichas regiones la temperatura es inferior a los 10°C, vientos helados, escasas lluvias y frecuentes nevadas. Más arriba de los 4.000 m el clima es sumamente frío; temperaturas bajas, lluvias escasas, fuertes vientos helados y nevadas frecuentes.<sup>10</sup>

5.1.6 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.

5.1.6.1 Región Amazónica. La Amazonía colombiana tiene una extensión de 403.348 km<sup>2</sup> 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.

---

<sup>10</sup> El Clima de Colombiano [en línea]. Bogotá: [citado 1 julio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://climaencolombia.blogspot.com/>>.>

5.1.6.2 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 km<sup>2</sup>. 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.

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.

5.1.6.3 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 km<sup>2</sup>. 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.

5.1.6.4 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.

5.1.6.5 Región Orinoquía. Ubicada al oriente del país, tiene una extensión de 310.000km<sup>2</sup>, 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.

5.1.6.6 Región Pacífica. Está ubicada en el occidente del país, abarcando toda la llanura del pacífico con una extensión de 83.170 km<sup>2</sup>. 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.

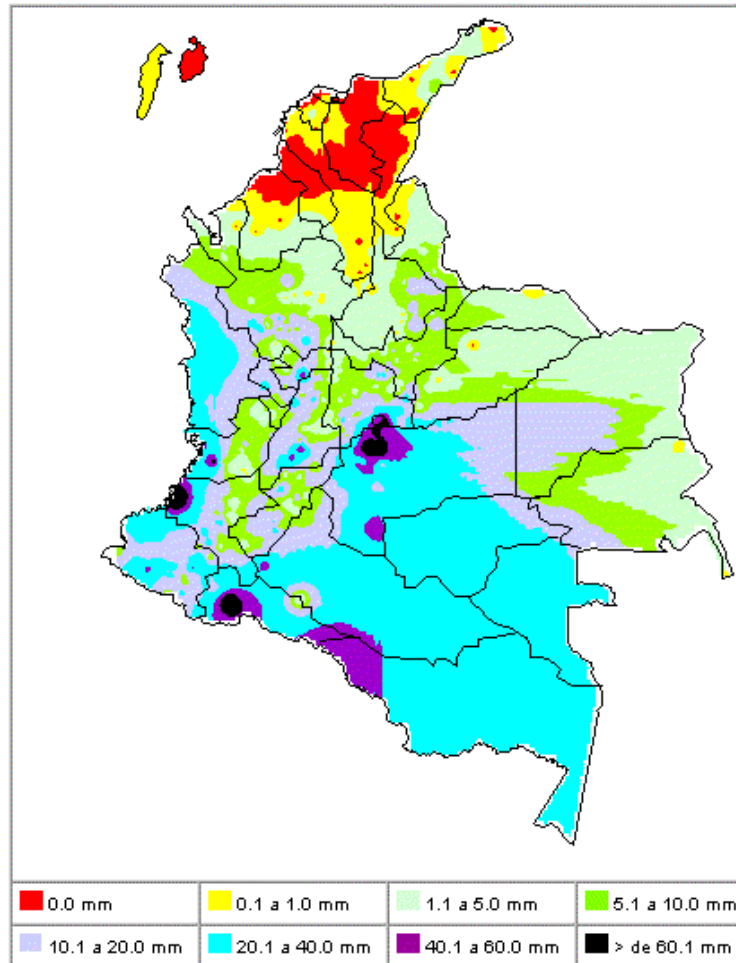
5.1.7 El Clima en Colombia. Colombia se desarrolla dentro de una zona intertropical del planeta. El clima de las distintas regiones que componen el país, varían como consecuencia de los vientos alisios (soplan de manera constante en verano y menos en invierno), la humedad y los pisos térmicos de acuerdo 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 humanas<sup>11</sup> (véase la Figura 1).

---

<sup>11</sup> 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>>.>



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>>

5.1.8 Estabilidad de taludes. Todos los movimientos y deslizamientos de tierra se pueden precisar y controlar antes de que se produzca el desastre, primero se tiene que realizar un diagnóstico que nos permita determinar el posible movimiento y luego buscar la mejor alternativa teniendo en cuenta los factores tales como: suelo, el clima, humedad, etc. A continuación se mostrara los factores de movimientos que puede poseer un talud. Teniendo en cuenta el manual para la inspección de obras de estabilización<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

Son factores que pueden clasificarse inicialmente como internos y externos: Primero se podría hablar de los internos los cuales encuentran aquellas características que definen la susceptibilidad de la ladera y segundo los externos, quienes son aquellos elementos relacionados con los agentes detonantes. La Tabla 2 nos brinda información de la clasificación de estos factores.

Tabla 2 Factores inherentes a la estabilidad de taludes

Factores Internos	Geológicos
	Geomorfológicos
	Geotécnicos
	Vegetación
Factores Externos	Climatológicos
	Sísmicos
	Antropogénicos

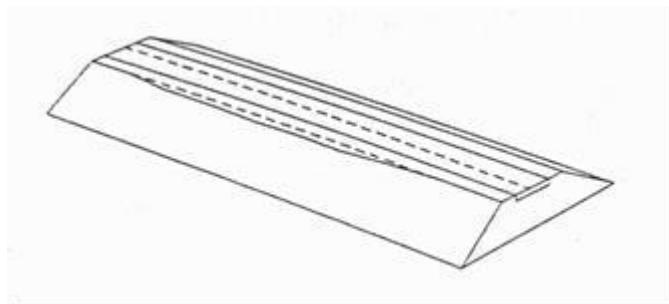
Fuente. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

### 5.1.9 Señales del movimiento

5.1.9.1 Grietas de tracción en carreteras o en los taludes. Se presenta la invasión de agua desfavoreciendo la resistencia a lo largo del plano de falla debido a que estas grietas generan presión por poros adicionales, y son estas quienes indican que la ladera o el talud se encuentran en las primeras etapas de su movimiento.

5.1.9.2 Hundimiento de subrasante. Los movimientos de reptación de la ladera o el desarrollo son un indicador de los desplazamientos verticales que se presentan de la calzada, en el caso de inestabilidad en el talud inferior. Sin embargo, estos movimientos de reptación pueden estar asociados con el asentamiento del relleno alrededor de alcantarillas como podríamos observar en la Figura 2.

Figura 2 Hundimientos de la subrasante

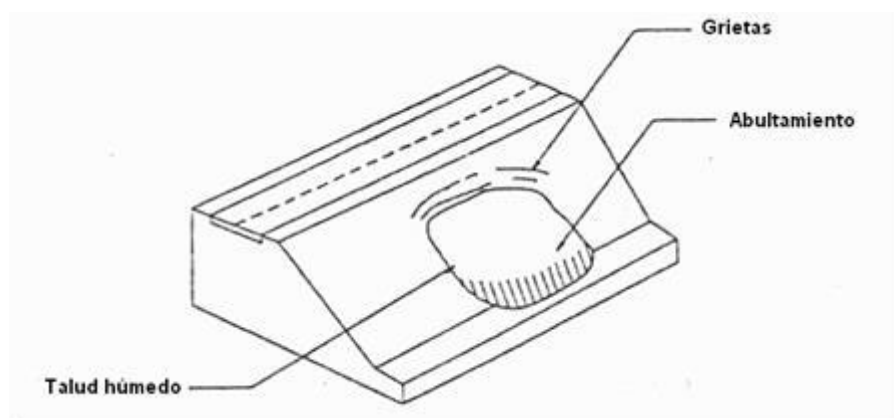


Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.9.3 Detritos en la vía. Los desechos pueden ser producidos en el sitio de desintegración de la roca, o en otro caso ser transportados y depositados en otros sitios por las corrientes de agua. Estos detritos que son residuos pueden ser por un deslizamiento o por que anteriormente hubo una caída intensa de rocas.

5.1.9.4 Abultamiento sobre o bajo la carretera. Gran cantidad de deslizamientos de masas de suelo pueden tener un aumento hacia la pata del talud, en donde la masa deslizada se ha acumulado como se puede observar en la figura 3.

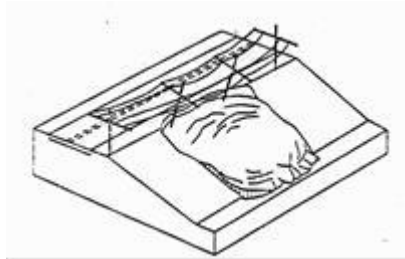
Figura 3 Abultamiento en alguno de los elementos de la carretera



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.9.5 Cambios de forma. Los movimientos de terreno pueden causar que los árboles se inclinen, portes de energía, teléfono u otros que queden tensionados por dicha desviación. En la figura 4 podemos ver esto.

Figura 4 Postes inclinados debido a movimientos del terreno



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

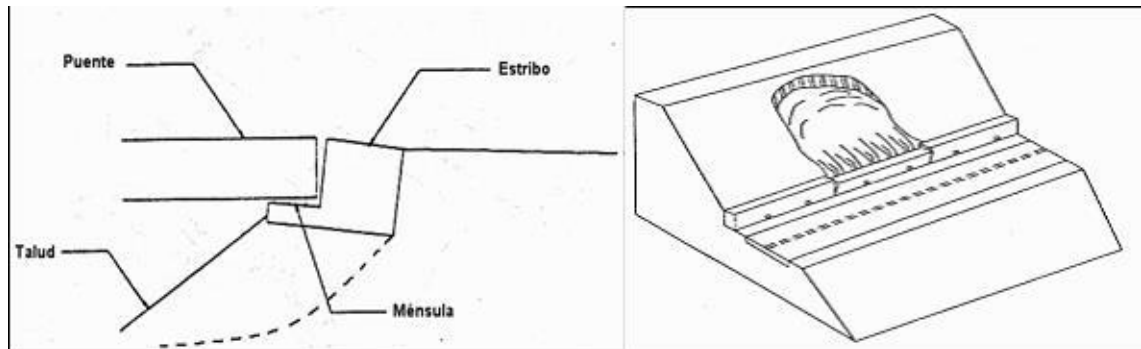
5.1.9.6 Deformación de estructuras adyacentes. Esta más centrado en estructuras como muros de contención o edificación o puentes.

En el caso de los puentes se debe hacer o poner atención e importancia a las inclinaciones que pueda presentar los estribos o asentamientos las losas de aproximación, ya que pueden estar relacionadas con movimientos de flujo plástico (reptamiento o creep).

En el caso de edificaciones, dependiendo en donde esté ubicada la masa deslizada, puede que este ocasione el agrietamiento de muros de mampostería, cimentaciones, levantamientos o hundimientos.

Y por último, en estructuras de contención puede observarse una pérdida de verticalidad o algún tipo de agrietamiento debido a los empujes de la masa deslizada, como se nos muestra en la figura 5 ejemplos de estas deformaciones estructurales.

Figura 5 Ejemplos de estructuras deformadas por la acción de la

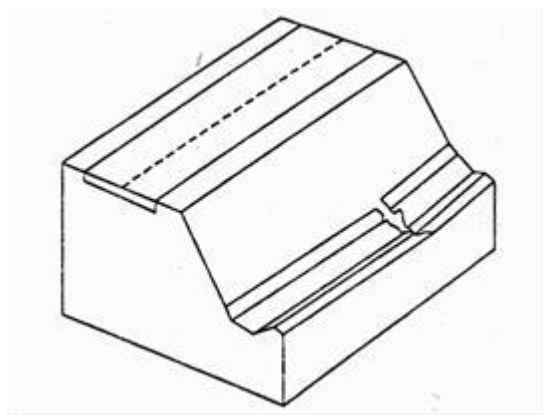


Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

Lo siguiente a tratar son tres elementos o factores adicionales que aunque no sean evidencias que existió un movimiento en el terreno, son quienes podrían generarlos los cuales son:

5.1.9.7 Drenaje deficiente de agua superficial. Este primer elemento tiene incorporado situaciones donde se ha estancado el agua, haciendo de estas fuentes de infiltración. Como podrían ser alcantarillas bloqueadas o agrietamientos o descargas de flujos en lugares donde se está desprotegido de los taludes.

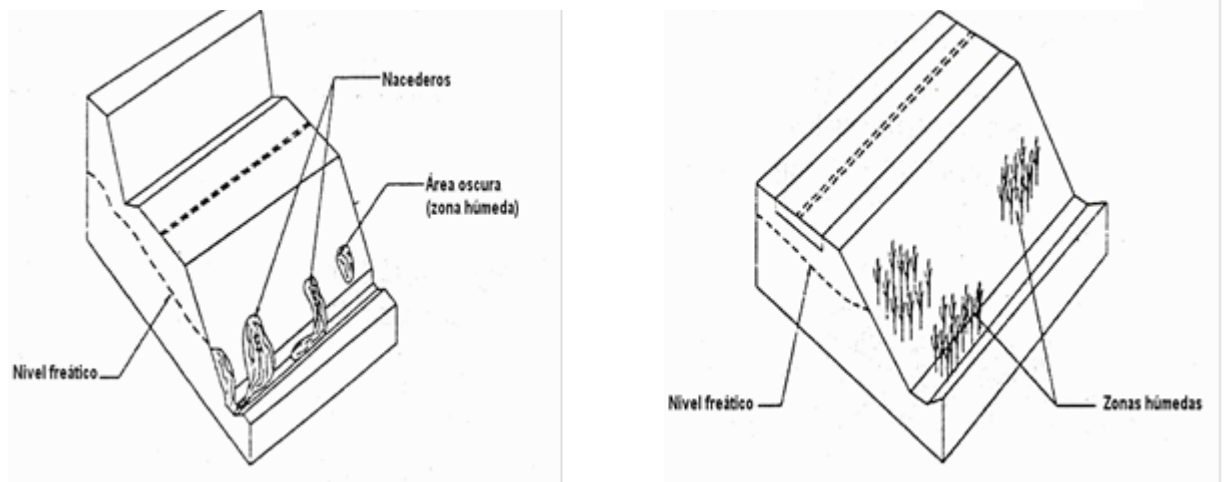
Figura 6 Fractura de cunetas revestidas



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.9.8 Drenaje deficiente de agua subsuperficial. Este segundo elemento hace alusión a los nacimientos que se dan en la pata de los taludes, como los cambios de color en el suelo, humedad, terreno blando, tipo y crecimiento de la vegetación como evidencia de flujo subsuperficial, como se ve a continuación en la figura 7.

Figura 7 Ejemplos de problemas de drenaje de aguas subsuperficiales



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

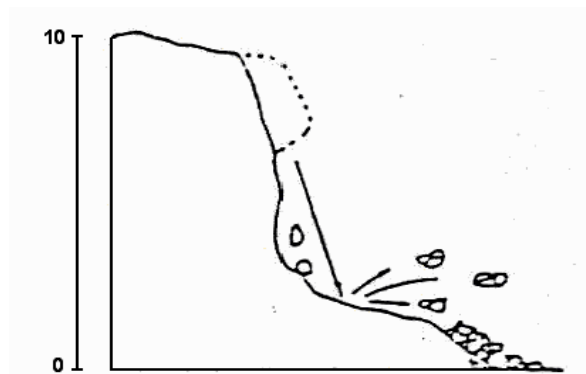
5.1.9.9 Erosión. Compone los problemas de socavación ocasionados por defectos en las entregas de las estructuras de drenaje en la pata de los terraplenes o taludes de corte.

Si se logra identificar alguna evidencia de inestabilidad, es apropiado establecer alguna metodología de clasificación de deslizamientos. Clasificaciones considerados factores tales como las propiedades del material no movilizado, atributos geomórficos, geometría del deslizamiento, tipo de movimiento, clima, humedad, velocidad del movimiento y mecanismo de disparo.

5.1.10 Tipos de movimiento. Por otro parte, Varnes (1978) dividió los tipos de movimientos de falla en taludes en los siguientes grupos:

5.1.10.1 Caídas. En este tipo de movimiento una masa rocosa de cualquier tamaño se desprende de un talud empinado o un acantilado, a lo largo de una superficie sobre la cual ocurre muy poco o ningún desplazamiento, descendiendo principalmente a través del aire por caída libre, a saltos, rodando, etc. (Figura 8).

Figura 8 Caídas



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.10.2 Volcamientos. Consiste en la rotación hacia adelante de una unidad o varias, con respecto a un punto en su parte inferior, por acción de la gravedad y de fuerzas ejercidas por unidades adyacentes o por fluidos en las grietas (Figura 9).

Figura 9 Volcamiento



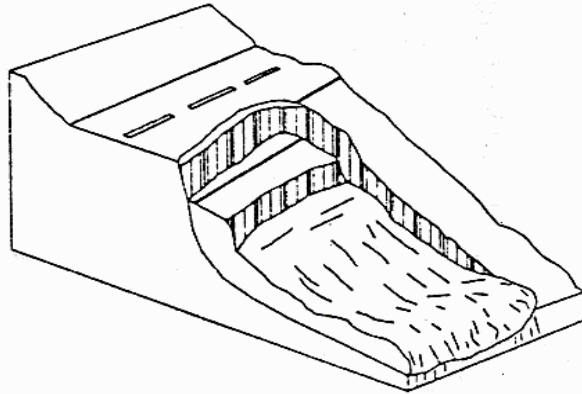
Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.10.3 Deslizamiento. Este movimiento consiste en deformación por corte y desplazamientos, a lo largo de una o varias superficies que son visibles o pueden inferirse razonablemente. Este grupo se divide en deslizamientos rotacionales y translacionales.

5.1.10.4 Movimientos rotacionales o hundimientos: Son deslizamientos de masas de suelo, a lo largo de una superficie cóncava bien definida. El movimiento es en esencia de rotación alrededor de un eje paralelo al talud, y es por lo general profundo en suelos cohesivos relativamente homogéneos de gran espesor, como en coluviones, capas arcillosas gruesas, rellenos, terraplenes y botaderos, aunque pueden ser superficiales en los mantos de suelo residual como se nos muestra posteriormente en la figura 10.



Figura 10. Deslizamiento rotacional



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.10.5 Deslizamientos trasnacionales. Consiste en el movimiento de cualquier tipo de material a lo largo de superficies casi planas, conformadas por discontinuidades de cualquier tipo, ya sea estratificación, deslizamiento, perfil de meteorización, o cualquier cambio en las propiedades mecánicas o en la continuidad del material. Es más común en taludes en roca, o en perfiles de meteorización como se nos muestra posteriormente en la figura 11.

Figura 11. Deslizamiento traslacional

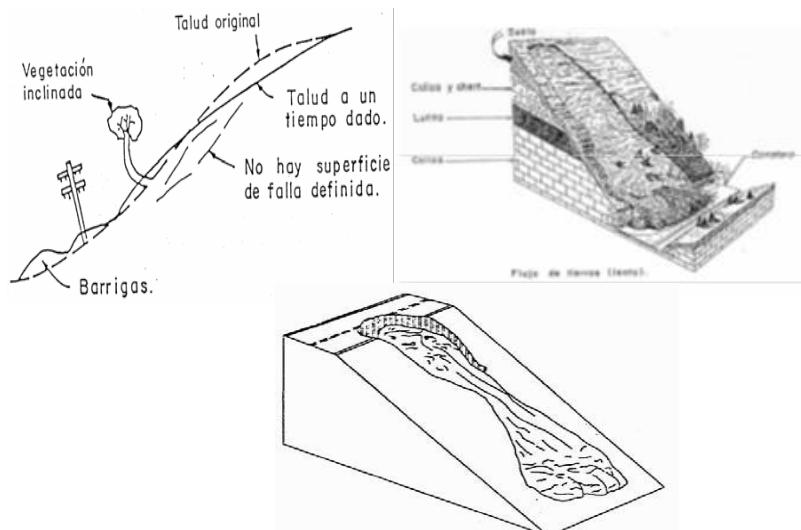


Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.10.6 Movimientos lentos, de reptación o flujo plástico. Aparece como un desplazamiento muy lento de la parte superficial del terreno, aún en taludes con pendiente moderada y con cobertura vegetal. El movimiento se evidencia por la deformación del terreno, la formación de pliegues en las formaciones rocosas o de arrugas y escalones en las masas de suelo, la inclinación de árboles, la separación del suelo en contacto con grandes rocas, la migración de éstas, el corrimiento de líneas férreas y carreteras, el tensionamiento de cercas y raíces de árboles, etc.

5.1.10.7 Flujos. Un flujo es un movimiento continuo, en el que la distribución de velocidades dentro de la masa se asemeja a la de un líquido graso; el límite inferior de la masa desplazada puede ser una superficie a lo largo de la cual tiene lugar un movimiento diferencial considerable o una zona alterada de gran espesor. A continuación se describen los principales tipos de flujos como se ve en la figura 12

Figura 12 Tipos de flujos



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

- Flujos de residuos y flujos de tierra:

Se forman en suelos o materiales provenientes de meteorización de las rocas, que pierden su estabilidad estructural por efecto del agua, también se pueden desarrollar a partir del cuerpo de otros tipos de deslizamiento, conformando movimientos complejos.

- Flujos de lodo: Se forman cuando una masa de detritos pierde resistencia por acción del agua hasta tener una consistencia blanda y fluida, generándose movimientos rápidos, dependiendo de la intensidad y duración de las lluvias y

de la pendiente del terreno. El movimiento de los flujos de lodo es debido por completo a la gravedad y su velocidad depende en alto grado de la pendiente del terreno sobre el cual se mueven y de la viscosidad del lodo, con influencia de las dimensiones y la rugosidad del canal.

5.1.10.8 Movimientos complejos. Puede que exista o se combinen tipos básicos de movimiento. Son comunes los hundimientos combinados con flujos de tierras y caída de rocas combinado con alguna avalancha de residuos.

El primer caso de combinación se presenta casi siempre en deslizamientos rotacionales, en los cuales la masa se deforma y disgrega bastante por el corrimiento.

Y en el segundo tipo se presenta cuando las lajas o bloques de roca se desprenden de laderas muy empinadas; estos bloques se desintegran al caer, arrastrando a su paso material alterado y vegetación, evolucionando en avalanchas debido a su alta energía cinética y a la pendiente del terreno.

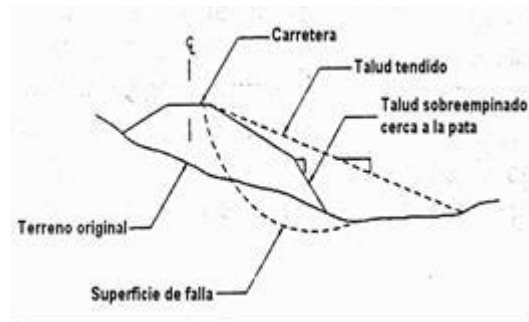
5.1.11 Obras de estabilización. Luego de haber identificado aquellos factores que han contribuido a la generación de los eventos de inestabilidad, se emprende obras que buscan la recuperación de las condiciones de estabilidad y la mitigación de los efectos que la amenaza puede acarrear sobre otro tipo de estructuras y los usuarios

A continuación se describirán sus principales características y los criterios a considerar durante su inspección sobre estas obras.

5.1.11.1 Reconformación. En base que la inestabilidad de los taludes se debe en muchos casos a la imposibilidad del terreno para soportar las cargas dadas por las fuerzas de cuerpo como podrían ser gravitacionales y sísmicas, entre otras. El cambio en la geometría del talud pretende remover el material que puede generar la inestabilidad. A continuación se presentan las principales técnicas de reconformación:

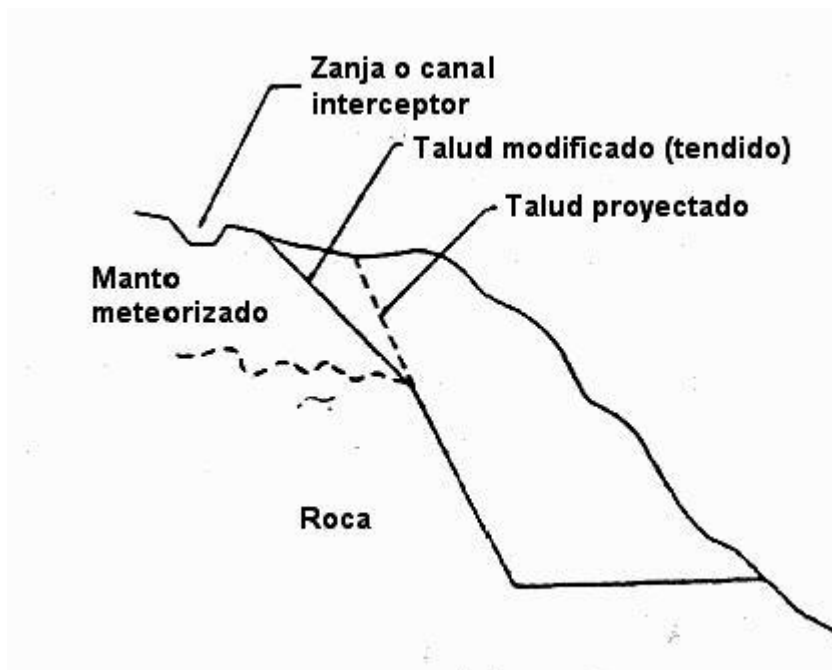
5.1.11.2 Tendido del talud. Establecido para resarcir los pequeños deslizamientos que son quienes abarcan materiales más meteorizados, también para excavaciones de cortes nuevos, o como correctivo de deslizamientos que hasta ahora inician. Pero también podrían causar inconvenientes si no se toman las medidas correspondientes para aquellos materiales que quedan expuestos. Como se observa en las dos siguientes figuras.

Figura 13 Tendido de un talud sobre-empinado materiales cerca de la pata



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

Figura 14 Tendido del talud de corte en meteorizados y depósitos de ladera

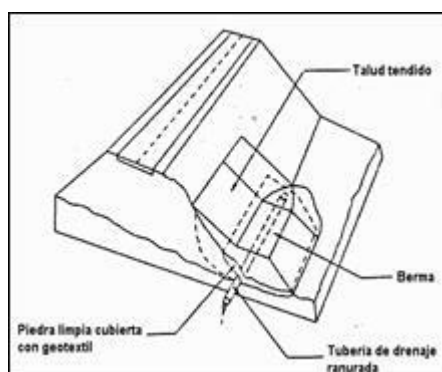


Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.11.3 Construcción de bermas de suelo y roca en la pata del talud. Son construcciones que se utilizan para proporcionar contrapeso en la pata del talud fallado. En la corrección de fallas rotacionales profundas para reparar pequeños deslizamientos en los que la pata esté sobre empinada.

Si se llegan a utilizar bermas, se deberá revisar tanto la estabilidad general como la estabilidad de cada uno de los taludes entre las bermas. Una de las principales ventajas de las bermas intermedias, es la reducción en volumen y velocidad de la escorrentía sobre la cara del talud y por consiguiente, la reducción en erosión e infiltración. Las bermas amplias pueden atrapar rocas desprendidas de partes más altas, reduciendo el daño en las estructuras construidas en el pie del talud; sin embargo, pueden ocasionar una desventaja cuándo no se adelantan las actividades de mantenimiento de los drenajes y de la protección superficial.

Figura 15 Componentes de las bermas

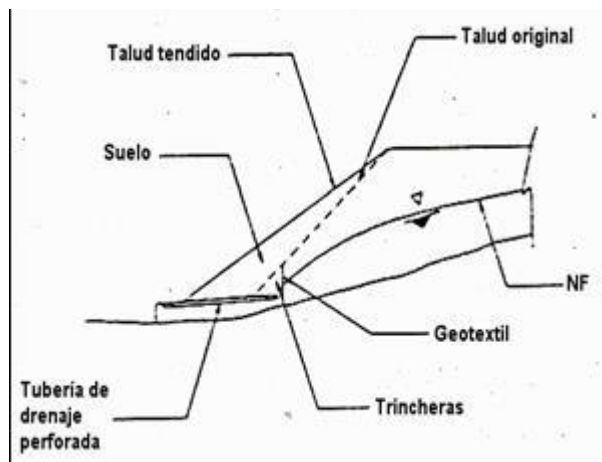


Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.11.4 Construcción de trincheras estabilizantes. En estas construcciones mejoran las condiciones de estabilidad del terreno y frecuentemente son un buen complemento a los taludes tendidos y las bermas. Como podemos ver en la figura 16.

Luego de extraer material inestable, se abren zanjas, las paredes y el fondo se cubren con geotextil, se rellena la trinchera y se coloca nuevamente geotextil en la parte superior antes de colocar el suelo del talud. Las trincheras deben extenderse sobre toda la longitud de falla y deben ser llevadas hasta la roca o terreno firme por debajo de la zona inestable. Como relleno debe emplearse roca no degradable, la cual debe compactarse en espesores máximos de 0.6 m y no debe contener más del 5% de material que pasa tamiz 200, en caso que se emplee como capa drenaje.

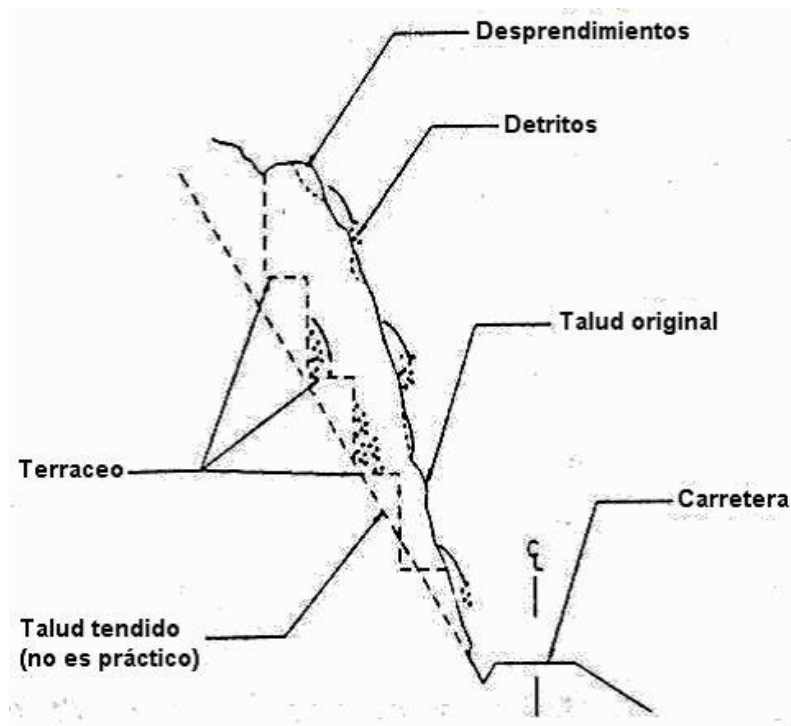
Figura 16. Sección transversal de drenaje interno por trincheras con relleno de piedra



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

Este se destina a taludes empinados en los que el tendido resulte complicado, ayudando a controlar la erosión y a retener detritos (residuos) provenientes de pequeños deslizamientos. El talud debe reconfigurarse de manera que el agua de escorrentía sea recolectada y conducida fuera del área potencialmente inestable como podemos observar en la siguiente figura.

Figura 17 Terraceo de un talud inestable



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.11.5 Estructuras de contención. Estas estructuras son utilizadas para reparar fallas de taludes en las obras lineales haciendo que incremente las fuerzas resistentes. También se utilizan en la pata de la masa deslizada en el caso de pequeñas masas en movimiento; debe dotárseles de un buen drenaje (filtros gradados, tubería colectora, lloraderos) y cimentarlos donde no haya posibilidad de remoción del suelo de fundación. Según García (1996), las funciones de las estructuras de contención son las siguientes:

- Controlar deslizamientos de pequeñas dimensiones en la dirección del movimiento.
- Controlar deslizamientos en la pata de taludes empinados.
- Disminuir la extensión de la falla en grandes masas.
- Soporte inicial en taludes tendidos o de rellenos para bermas.
- Limitar el derecho de vía o los sitios de préstamo de materiales.

La inspección de estructuras de contención, de manera general, incluye la observación de:

- Señales de movimiento en el talud, según lo expuesto en el numeral 1.1.
- Estabilidad al volcamiento, deslizamiento, capacidad portante y general.

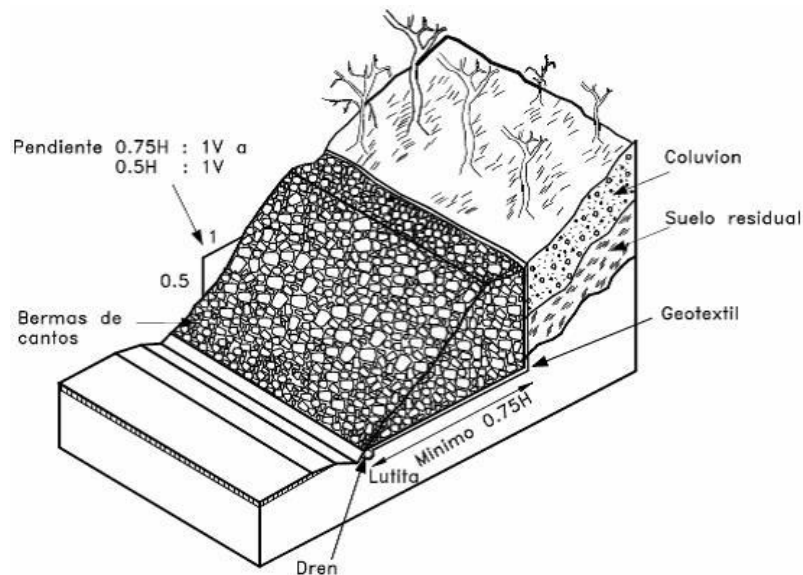
- Condición de flujo de agua en el muro, ya sea a través de lloraderos o desagües de filtros; de manera que el caudal de salida sea consecuente con las condiciones de humedad del talud.

Posteriormente se describen algunas estructuras de contención:

5.1.11.5.1 Diques en tierra o roca. Son estructuras que soportan las presiones de tierra por medio de su propio peso, como vemos en la figura posterior número 18.

Los taludes de contrapeso formados por tierra o suelo (mezcla de suelo y roca) no pueden ser superiores al 2H: 1V y la cantidad de finos en la mezcla debe limitarse a un máximo del 20%. Si el material llenante del talud fallado contiene suelos de grano fino, se debe colocar un agregado filtrante o un filtro de geotextil antes de colocar el contrapeso de suelo o roca.

Figura 18 Muro de gravedad en roca



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.11.5.2 Muros de gaviones. Se basa en unidades de forma paralelepípedo en malla de alambre galvanizado, que se llena con fragmentos de roca dura. Los gaviones deben comportarse como estructuras flexibles para soportar grandes deformaciones sin perder su capacidad estructural o sus funciones de revestimiento.

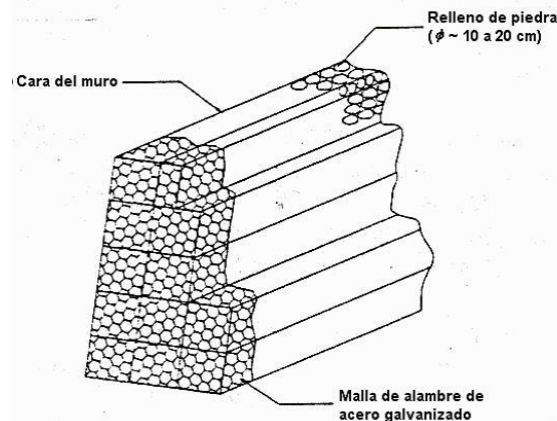
Los factores que influyen en la flexibilidad de estas estructuras son:



- Geometría y dimensiones de la malla.
- Propiedades mecánicas del alambre.
- Tamaño y forma de las piedras de relleno.
- Número de tirantes y diafragmas.
- Dimensiones del gavión.

Los principales componentes de un muro de gaviones se muestran en la Figura 19:

Figura 19 Principales componentes de un muro de gaviones



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

De acuerdo con la Sociedad Colombiana de Geotecnia (2000), los tipos de gaviones más empleados en Colombia son los siguientes:

Tabla 3 Dimensiones de los tipos de gaviones más empleados en nuestro medio

TIPO	LONGITUD [m]	ANCHO [m]	ALTURA [m]
Gaviones de base	2.0	1.0	0.5
Gaviones de cuerpo	2.0	1.0	1.0
Colchonetas	4.0	2.0	0.15-0.30

Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.11.5.3 Alambre: Acero dulce recocido, galvanizado en caliente con zinc puro y exento de escamas, grietas, corrosión u otros defectos. Debido a que el zinc es resistente a la corrosión ante aguas con pH entre 6 y 12.5, en aquellos casos en los que las obras estén en contacto con aguas negras o aguas ácidas, puede contemplarse un revestimiento adicional de asfalto o P.V.C.

Los alambres utilizados en el cosido de los gaviones, los tirantes inferiores y las uniones entre unidades, deben ser del mismo diámetro y calidad que el alambre de la malla. El alambre utilizado en las aristas o bordes del gavión debe tener un diámetro mayor, se recomienda que éste sea un calibre inmediatamente superior al del alambre empleado para la malla.

5.1.11.5.4 Mallas. Para la construcción de las canastas de gaviones se emplean los siguientes tipos de malla:

- Malla hexagonal de triple torsión.
- Malla hexagonal de doble torsión.
- Malla de eslabonado simple.
- Malla electro soldada.

Es recomendable el uso de mallas hexagonales de triple torsión ya que permiten tolerar esfuerzos en varias direcciones sin producirse rotura. Asimismo, no se abre completamente la malla en el caso de roturas en alambres individuales, tal como sucede en las mallas eslabonadas, además de no presentar los inconvenientes de las zonas de soldadura en las mallas electro soldadas.

5.1.11.5.5 Material de relleno: Cada fragmento de roca debe estar entre 0.1 y 0.3 m, es recomendable evitar la utilización de fragmentos de lutita, arcillolita o pizarra, a menos que éstos cumplan con los siguientes requisitos de durabilidad y resistencia:

Índice de desleimiento – durabilidad mayor o igual al 90%, desgaste en la máquina de los ángeles menor al 50% y la resistencia a la carga puntual debe ser mayor a 10 veces el nivel de esfuerzos al que va a estar sometida la estructura de gaviones.

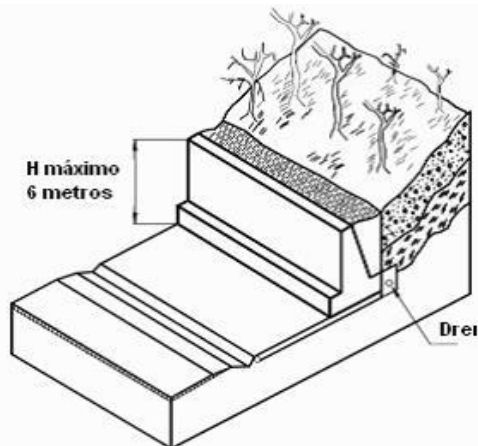
El material de relleno debe hacer que los fragmentos más pequeños queden en la parte central del gavión, y los fragmentos más grandes queden dispuestos en contacto con la canasta. Para reducir la deformación del gavión, deben colocarse tirantes horizontales en los tercios medios de la altura en los gaviones de cuerpo y en la mitad de los gaviones de base; estos tirantes deben estar espaciados cada 0.5 m en sentido horizontal procurando alternar la posición de las hiladas.

5.1.11.5.6 Muros de gravedad en concreto. Es una cantidad relativamente grandes de concreto o concreto con piedra, las cuales trabajan como estructuras rígidas así como se puede apreciar en la posterior figura.

No se recomienda su uso en alturas superiores a 6 m, debido al aumento de costos y a la generación de esfuerzos de flexión que no pueden ser resistidos por el concreto simple; generando roturas a flexión en la parte inferior del muro o dentro del cimiento.

Los muros de concreto en todos los casos, deben tener un sistema de drenaje para eliminar la posibilidad de presiones de agua. Se deben construir juntas de contracción o expansión a distancias en ningún caso superiores a 20 m. Si los materiales utilizados presentan altas dilataciones por cambio de temperatura, las juntas deben colocarse cada 8 m.

Figura 20 Muro en concreto sin refuerzo



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014].  
Disponible en Internet:

<https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

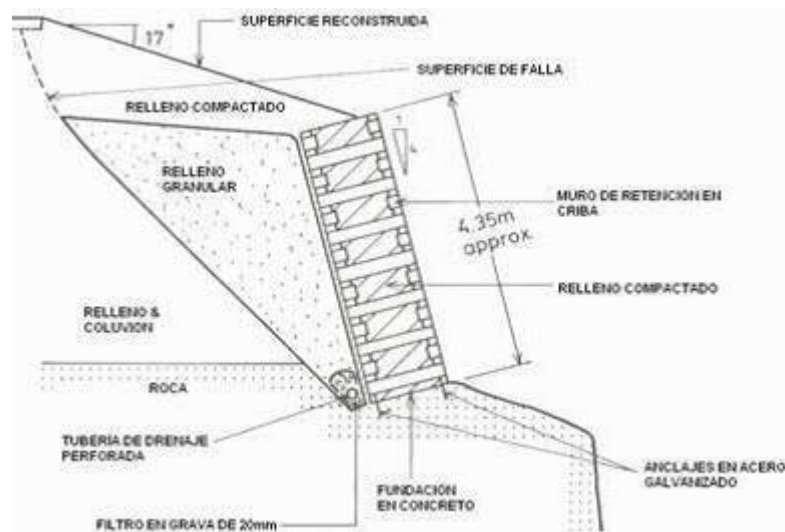
Con el objeto de obtener fuerzas de reacción por fuera del movimiento que aporten estabilidad del muro y del deslizamiento los muros de concreto deben cimentarse por debajo de la superficie de falla.

5.1.11.5.7 Muros de Concreto Ciclópeo: Son una mezcla de concreto con cantos o bloques de roca dura. Generalmente, se utilizan mezclas de 60% de concreto y 40% de volumen de piedra. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que si el porcentaje de piedra es mayor tiene una desventaja mayor de generar más grietas en el muro.

La estructura o su forma es muy similar al de los muros de concreto simple rígidos y masivos, en ocasiones se le colocan refuerzos de varilla de acero para mejorar su resistencia interna

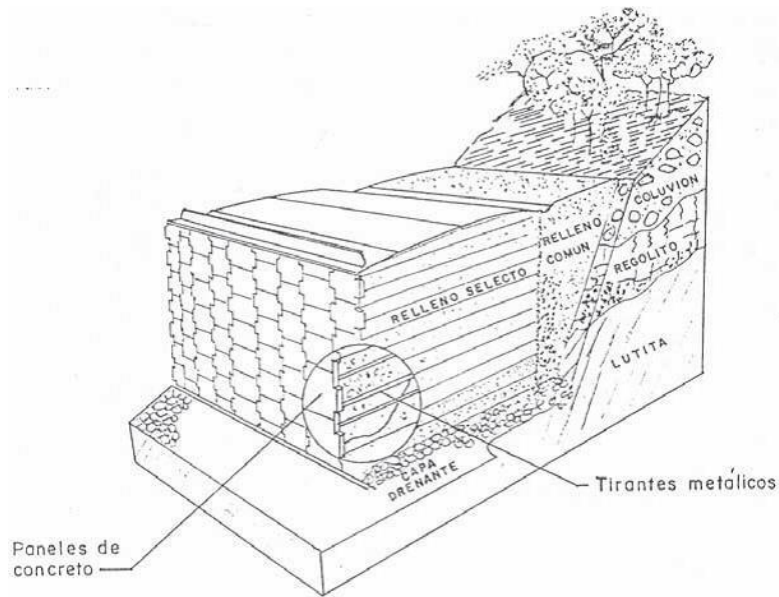
5.1.11.5.8 Muros de encofrado o de cribas. Estas estructuras se dirigen hacia pequeños deslizamientos (menos de 6 m de altura) y para prevenir la socavación de la pata de los taludes. Está formada por la unión de un número de celdas juntas y llenas con suelo o roca para obtener resistencia y peso como un muro de retención de gravedad

Figura 21 Componentes principales de un muro de cribas



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

Figura 22 Componentes principales de un muro en tierra reforzada



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

En su esquematización debe considerarse un análisis de estabilidad tanto del conjunto estructura deslizamiento como de la estructura interna. Los elementos principales de estas estructuras son:

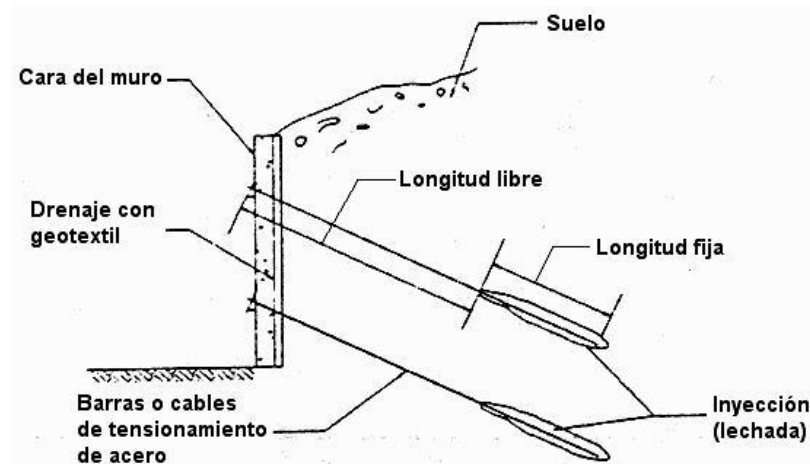
5.1.11.5.9 Material de relleno: Se debe tener precaución de no utilizar materiales orgánicos o vegetativos, se establece que debe ser un material capaz de desarrollar fricción. Por otro lado, cuando se utiliza piedra triturada debe verificarse que el refuerzo no sea fracturado por los bordes angulosos del triturado.

El material se debe comprimir a una densidad tal que garantice la estabilidad del relleno en cuanto a resistencia y compresibilidad, densidades tales como de un 95%. El proceso de compactación debe realizarse teniendo cuidado de no romper o deteriorar los elementos de refuerzo.

5.1.11.5.10 Muros anclados. Los anclajes de tierra son elementos estructurales que se introducen en la masa de suelo o roca y actúan restringiendo el movimiento del muro de contención. Los componentes principales se observan en la Figura 23.

- Acero pre esforzado: Tensores de alambre o barras, sencillos o múltiples.
- Longitud de anclaje: la porción del acero pre esforzado que se fija a la lechada inicial.
- Longitud no anclada: La porción del acero preesforzado que no se fija o se entraba.
- Cabezal de anclaje: Tuerca plana y roscada que permite el pre esfuerzo del acero.

Figura 23 Componentes de un muro anclado

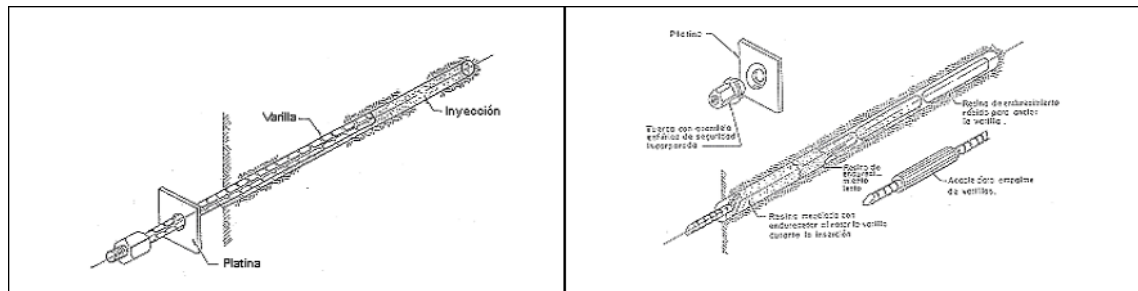


Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.11.6 Anclajes en suelo y roca. Se refiere a fijaciones o tensores, que se emplean solos o en conjunto con estructuras de contención como las que se mencionaron anteriormente

5.1.11.7 Anclajes en roca. Son fijaciones que se usan para el control de deslizamientos en roca. Para fijar losas de espesor moderado, se pueden utilizar anclajes pasivos tales como pernos de roca inyectados en toda su longitud como se observa en la figura 24.

Figura 24 Anclajes en roca



(a) Perno en roca, no tensionado

(b) Varilla corrugada postensada

Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet:

<https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

5.1.11.8 Pantallas ancladas. Son muros de concreto vaciado directamente sobre la cara del talud, que tienen la misma función de fijar pero de manera frontal.

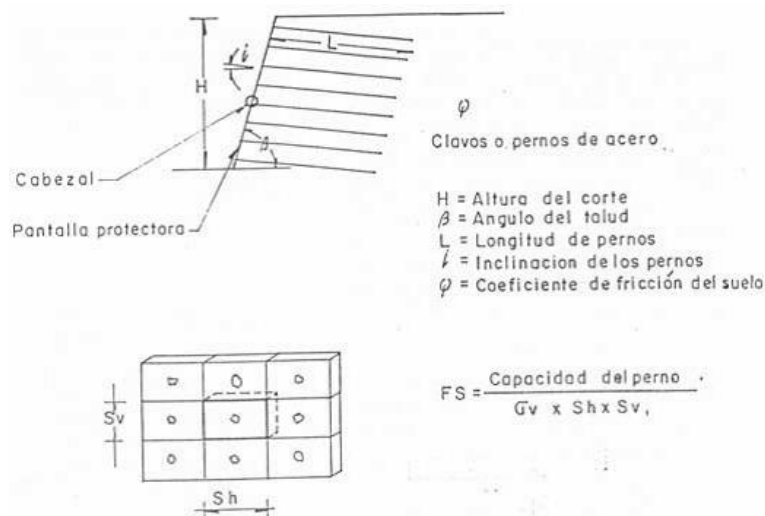
Obtienen su capacidad de contención de una serie de cables o barras pre o postensadas colocadas en perforaciones realizadas previamente y ancladas a terreno firme detrás de la superficie de falla por medio de inyecciones de mortero.

Estos tres son algunos factores de diseño y construcción que deben ser considerados durante la inspección; estos son:

- El área transversal mínima del elemento a tracción debe ser una barra única o un conjunto de alambres, debe ser de más de 2,25 cm<sup>2</sup> para anclajes provisionales y 3,0 m<sup>2</sup> en permanentes.
- La protección contra corrosión es esencial en anclajes permanentes
- Drenajes eficientes

5.1.11.9 Suelo empernado o sistema de clavetaje. Se basa en reforzar el suelo en el sitio con la intrusión de barras o perfiles de acero hincados o barrenados e inyectados con lechada de cemento o mortero en toda su longitud. Uno de sus extremos se conecta a un recubrimiento estructural del talud formado generalmente con malla de refuerzo y concreto lanzado. Los componentes principales de este tipo de estructuras se muestran en la Figura 25.

Figura 25 Componentes de un muro de suelo emperrado



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

**Clavos o pernos:** Son barras de acero estructural ordinario cuya separación es entre 1,0 m y 1,5 m con el propósito de lograr un refuerzo uniforme.

**5.1.11.10 Pantalla protectora:** Es de nuevo una especie de muro que en vez de fijar su función es proteger la superficie del terreno de los agentes erosivos, generalmente conformado por una losa de concreto proyectado, reforzado con una malla de acero electro soldado.

**Cabezal:** los cabezales no generan fuerzas concentradas significativas que ameriten el chequeo de la losa por punzonamiento.

**Pilotes:** Son aquellos deslizamientos que no tienen mayor profundidad y pueden estabilizarse con un sistema de contención con pilotes hincados en forma continua o poco espaciados. Los pilotes deben empotrarse en suelo firme y competente para evitar su arrancamiento o inclinación.

Son algunos lineamientos a considerar durante la inspección.

- El espaciamiento entre pilas deben impedir el flujo de suelo entre ellos
- La resistencia a la flexión o al pandeo de las pilas debe ser suficiente para evitar el movimiento del talud, siendo un factor crítico que restringe su uso a deslizamientos pequeños



- Movimientos excesivos pueden indicar que la pila no llegó debajo de la superficie de falla o que la profundidad no fue suficiente para garantizar la estabilidad.<sup>13</sup>

Teniendo en cuenta los tipos de movimientos y señales que puede presentar un talud, podemos sugerir las fajinas en nuestro territorio colombiano teniendo en cuenta el tipo de material que se va a utilizar y sus propiedades que este mismo tiene para cosecharlas y ser una alternativa adecuada para la construcción de nuevas carreteras . A continuación se dará información del proceso constructivo de la fajinas y en donde podemos utilizarles dependiendo del tipo de suelo, clima y por supuesto dependiendo la inclinación del talud, que es un limitante de este método.

## 5.2 TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA

Son técnicas para las cuales se utilizan materiales vegetales vivos con medidas de ingeniería convencional para conseguir el fin deseado, el control de la erosión, la estabilización y la revegetación de áreas erosionadas. Para el desarrollo de estas técnicas se deberán integrar sus necesidades particulares con la ingeniería convencional y los materiales vegetales vivos.

Se tiene como objetivo favorecer el retorno del equilibrio ambiental del ecosistema propio del lugar en el plazo de menor tiempo posible.

Finalidades:

- Finalidad técnica: protección contra los agentes erosivos y ayuda a la estabilización de las pendientes frente a los deslizamientos.
- Finalidad ecológica: creación y reconstrucción de ambientes naturales mediante el empleo de técnicas de restauración del paisaje, principalmente con especies autóctonas que contribuyan a acelerar la recuperación del ecosistema original de la zona.
- Finalidad estética y paisajística: disminución del impacto causado por obras humanas y agentes naturales.
- Finalidad socioeconómica: beneficios sociales y económicos con una disminución de los costos constructivos y energéticos.

5.2.1 Principios básicos Son considerados normas de sentido común que incluyen la planificación, la coordinación y el minimizar las alteraciones causadas al terreno. Estos principios pueden ser resumidos a continuación:

---

<sup>13</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. *Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>*

Adecuar las técnicas de la bioingeniería a las condiciones particulares del lugar. Ello comporta considerar los estudios de topografía, geología, edafología, botánica e hidrología de la zona, evitar las gradaciones y aterraamientos excesivos y los trabajos de preparación del suelo en áreas críticas, y realizar análisis del suelo para determinar si este puede soportar un estudio vigoroso de las especies a implantar. Se recomienda recoger la información siguiente:

**5.2.1.1 Topografía y exposición:** Observar el nivel de la pendiente de las áreas estables y en las inestables. Verificar también la presencia o la ausencia de agua. Las mayores probabilidades de éxito de las técnicas basadas en la bioingeniería pueden ser determinadas mejor verificando la existencia de pendientes estables cerca del terreno escogido.

Observar el tipo y la densidad de la vegetación en áreas con y sin presencia de agua, y en pendientes encaradas hacia diferentes orientaciones. Cierta tipo de plantas se desarrolla mejor en las pendientes orientadas al este, pero no sobreviven en las orientadas hacia el norte.

Buscar las áreas en donde la vegetación crezca más vigorosamente. Esto generalmente es un buen indicador de la presencia de agua, como filtraciones y una capa freática asentada, o puede reflejar un cambio en el tipo de suelo.

**5.2.1.2 Geología y edafología:**

- Consultar a un experto en geología sobre la historia geológica y los tipos de depósitos (coluvies, glacial, aluvial, etc.)
- Buscar evidencias de anteriores deslizamientos de masas de tierra. Si es así, determinar si el deslizamiento afectó a una superficie profunda o superficial. La existencia de árboles torcidos o deformados puede indicar anteriores movimientos de la pendiente o un desplazamiento pendiente abajo. Además de la evidencia sobre el terreno, tomar fotografías aéreas, que pueden revelar características poco visibles en una visita al terreno.

Determinar el tipo y la profundidad del suelo

**5.2.1.3 Botánica:**

- Determinar el ecosistema y el tipo de las especies presentes en la zona.
- Determinar las características biotécnicas de las especies presentes en la zona
- Determinar la disponibilidad para poder recolectarlas o su disponibilidad en el mercado

**5.2.1.4 Hidrología:**

- Determinar el área de drenaje asociada al área problemática, y observar si el agua puede ser desviada de esta área.
- Averiguar la precipitación anual media de la zona y si se producen lluvias torrenciales.
- Calcular los flujos máximos de agua de lluvia o las descargas principales sobre la zona.
- Si existe una zona de filtraciones, localizar la procedencia del agua y determinar si ésta puede ser canalizada fuera de la superficie de la pendiente.
- 
- Mantener la vegetación existente donde sea posible
- Las medidas de la bioingeniería están diseñadas para ayudar o mejorar el restablecimiento de la vegetación, ésta ofrece una protección excelente contra la erosión superficial y los deslizamientos del suelo.
- Limitar la eliminación de vegetación:
- Limitar el área afectada al menor tamaño práctico posible.
- Limitar la duración de las alteraciones al menor tiempo posible.
- Retirar y almacenar la vegetación leñosa existente que pueda ser usada más tarde en el proyecto.
- Programar el aclareo / limpieza del terreno para periodos de baja precipitación siempre sea posible.

Almacenar y proteger la capa superior del suelo.

La capa superior del suelo extraída durante el proceso de aclareo / limpieza y nivelación del terreno se deberá reutilizar durante las operaciones de implantación.

Proteger las áreas expuestas a la erosión durante los trabajos de construcción. Puede usarse, de la forma temporal, medidas de control de la erosión y de los sedimentos.

Desviar, drenar o almacenar el exceso de agua

Instalar un sistema adecuado para controlar el aumento y/o la concentración de agua producidos por el cambio del suelo, así como las condiciones de la superficie durante y después de la construcción.

Introducir medidas permanentes de control de los drenajes en el proyecto, a ser posible antes del inicio de la obra.

### 5.3 MARCO CONCEPTUAL

Bioingeniería: “Se entiende por Bioingeniería a la disciplina constructiva que persigue objetivos técnicos, ecológicos, utilizando sobre todo materiales vivos como semillas, plantas, y la combinación

con materiales inertes como piedra, tierra, madera, hierro o acero como elementos constructivos”.

Erosión: “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”.

Socavación: “Excavación profunda causada por el agua, uno de los tipos de erosión hídrica . Puede deberse al embate de las olas contra un acantilado, a los remolinos del agua, especialmente allí donde encuentra algún obstáculo la corriente, y al roce con las márgenes de las corrientes que han sido desviadas por los lechos sinuosos”.

Talud: “Es el término que se utiliza para designar a la acumulación de fragmentos de roca partida en la base de paredes de roca, acantilados de montañas, o cuencas de valles. Estos depósitos típicamente poseen una forma cóncava hacia arriba, mientras que la máxima inclinación de tales depósitos corresponde al ángulo de reposo correspondiente al tamaño promedio de las rocas que lo componen”.

Escorrentía: “Escribe el flujo del agua, lluvia, nieve, u otras fuentes, sobre la tierra, y es un componente principal del ciclo del agua. A la escorrentía que ocurre en la superficie antes de alcanzar un canal se le llama fuente no puntual. Si una fuente no puntual contiene contaminantes artificiales, se le llama polución de fuente no puntual”.

Cárcavas: “Son los socavones producidos en rocas y suelos de lugares con pendiente a causa de las avenidas de agua de lluvia. Estas producen la llamada erosión remontante. Se producen tan sólo en el sustrato de tipo arcilloso, si hay dos o más cárcavas que avanzan paralelas en línea recta se llama rills. Se concretan, normalmente, en abarrancamientos formados en los materiales blandos por el agua de arroyada que, cuando falta una cobertura vegetal suficiente, ataca las pendientes excavando largos surcos de bordes vivos”.

## 6. PROPIEDADES DE ESTABILIZACIÓN DE LAS FAJINAS

Antes de ponernos a explicar los beneficios de las fajinas, primero debemos conocer los efectos que tienen las raíces en los taludes para ello Sidle en 1985 explica las ventajas de estas tres formas

A." Unir materiales de los suelos inestables a mantos más estables. Este efecto es más pronunciado donde la superficie crítica de falla se encuentra en la zona de raíces.

B. Formar una red densa entretrejida en los primeros 30 a 50 centímetros de suelo, y esta red forma una membrana lateral que tiende a reforzar la masa de suelo más superficial y sostenerla en el sitio.

C. Las raíces individuales actúan como anclajes que estabilizan los arcos de suelo que se extienden a través del talud. Las raíces actúan como pilas de refuerzo"

La experiencia utilizando métodos de vegetación ha demostrado poder evitar problemas de erosión, reptación y fallas superficiales. Las raíces le aportan una mayor resistencia, al mismo tiempo facilita drenar el Talud. Pero la desventaja de utilizar estos métodos depende principalmente en características específicas que posee cada planta y es prudente tener en cuenta factores tales como: Volumen y Densidad de Follaje, tamaño, ángulo de inclinación de talud y diámetro de las raíces.

"El tipo de vegetación tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales: en primer lugar tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y además da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.

Como controlador de infiltraciones tiene efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo al tomar el agua que requiere para vivir".

Las diferentes partes de la planta también cumple una función importante desde el punto geotécnico como o expresara la siguiente tabla:

Tabla 4 Componentes de la planta y sus funciones

Parte de la Planta	Funcion
Raíz	Andaje, absorción, conducción y acumulación de líquidos.
Tallo	Soporte, conducción y producción de nuevos tejidos.
Hojas	Fotosíntesis, transpiración

Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>

## 6.1 FAJINAS

“Las fajinas son manojos de ramas que se entierran en zanjas poco profundas para que germinen en forma similar a como lo hacen las estacas vivas. Las zanjas generalmente, son excavadas a mano y forman un contorno a lo largo de las líneas de nivel del talud.

En taludes muy húmedos también se pueden colocar siguiendo la pendiente para facilitar el drenaje. Después de colocar las fajinas las zanjas se rellenan con suelo en tal forma que parte de las fajinas queda enterrada y parte expuesta. La longitud de los ramos de fajina varía de 0.50 a 1.0 metro”.

Las fajinas es un método amigable con el medio ambiente en el cual se busca una forma para ser utilizado en nuestro país, para esto es necesario tener su en cuenta su instalación ya que la efectividad de este depende principalmente del tipo de rama que se utiliza y de la forma constructiva. En la imagen 26 se mostrara el proceso constructivo.

“Constituyen una técnica de estabilización muy efectiva que protege los taludes frente a deslizamientos superficiales (0,25 - 0,75 m de profundidad) y que permite escalonar o banquear la pendiente de los taludes cuando la excavación es difícil.

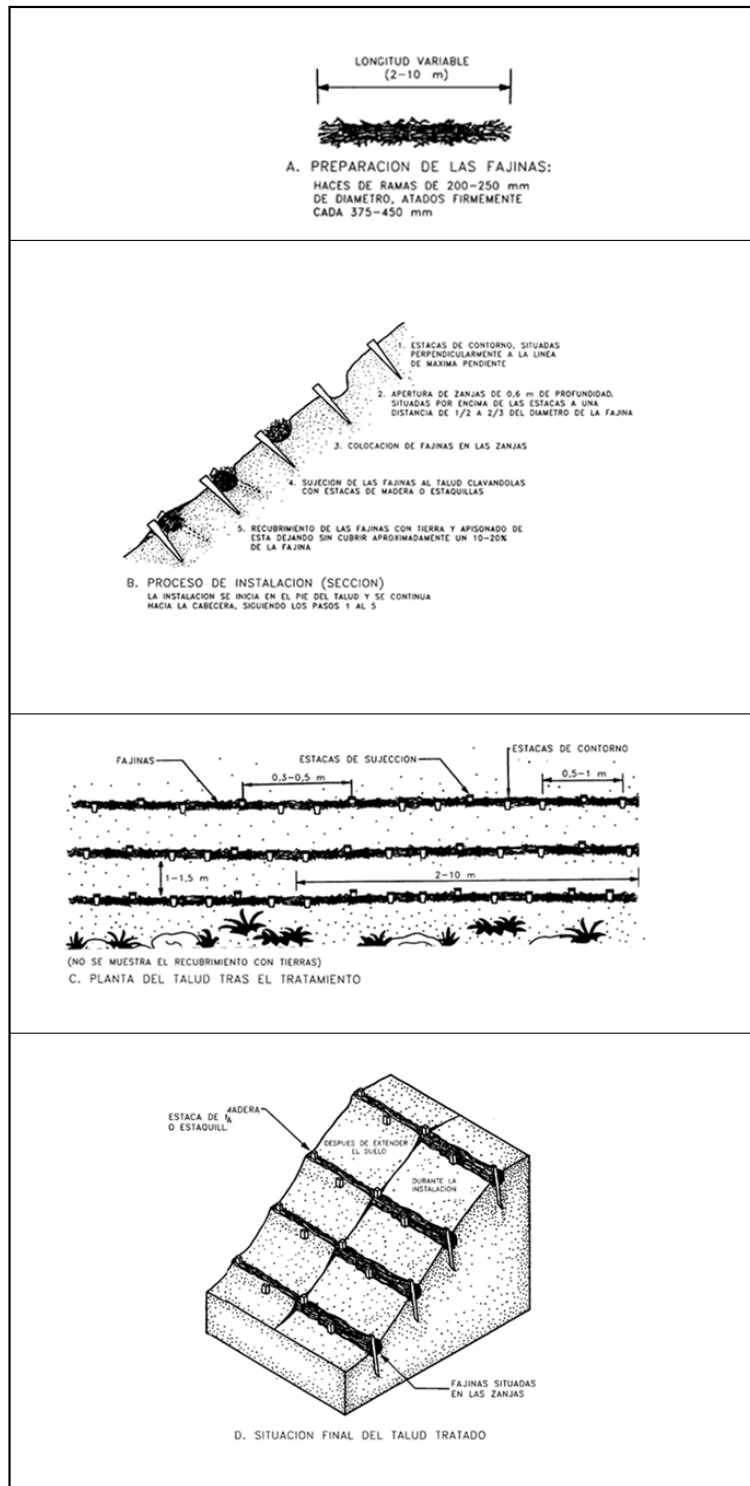
La matriz de raíces que se desarrolla a partir de las fajinas proporciona efectos de contención y retención de las capas superficiales del suelo, evita la formación de cárcavas y barrancos y protege el talud frente a la erosión superficial, ya que se reduce la longitud efectiva de la pendiente al quedar ésta dividida en tramos

más cortos por las sucesivas fajinas. En las terrazas que se forman entre filas sucesivas de fajinas quedan, además, retenidas las partículas que arrastra la escorrentía superficial, con lo que se reducen así las necesidades de conservación de las cunetas”.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> MATAIX, Carmen. Técnicas de revegetación de taludes. [en línea]. Bogotá: [citado 9 noviembre 2014]. Disponible en Internet: <URL [http://www2.uah.es/tiscar/Complem\\_EIA/cap-X-189-214.PDF](http://www2.uah.es/tiscar/Complem_EIA/cap-X-189-214.PDF)

Figura 26 Instalación de las fajinas en los taludes



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>



### 6.1.1 Materiales y preparación de las fajinas

“Para construir las fajinas se utilizan ramas y tallos de plantas leñosas con alta capacidad de enraizamiento. Las ramas deben ser largas, rectas y flexibles y estar provistas de yemas de crecimiento activas. Los sauces (*Salix* sp) son los que mejor resultado dan, pero también pueden utilizarse algunas especies del género *Cornus*, abedules (*Betula* sp), alisos (*Alnus* sp) y chopos (*Populus* sp).

Al elegir el material vegetal conviene tener en cuenta que los sauces jóvenes, menores de 1 año, desarrollan las yemas de crecimiento con mucha facilidad, los ejemplares adultos tienen mayores reservas vegetativas y los de mayor edad son más resistentes. Conviene, por tanto, mezclar material de todas las edades, procurando que la mayoría corresponda a ejemplares de entre 1 y 4 años.

Para construir la fajina se emplean ramas de entre 1 y 9 m de longitud y entre 15 y 30 mm de diámetro. Las ramas se agrupan para formar un haz y se atan cada 30 - 50 cm con bramante o cuerda fina hecha con fibras vegetales. Las dimensiones recomendadas para la fajina completa son de 15 a 30 cm de diámetro y de 2 a 10 m de longitud, aunque estas dimensiones pueden variar dependiendo de las condiciones particulares de la zona de actuación.

Las yemas apicales de crecimiento deben quedar orientadas en la misma dirección y los extremos de las ramas y tallos uniformemente distribuidos a lo largo de la fajina. Para anclar las fajinas pueden utilizarse estaquillas o estacas de madera maciza. Las estaquillas deben tener unos 0,5 m de longitud como mínimo si el talud es en desmonte, y 0,75 m si está construido en terraplén. Las estacas de madera maciza deben tener entre 0,6 y 1 m de longitud. Su madera debe estar sana y todas las estacas que se rompan o se astillen durante la instalación deben ser desechadas”.

### 6.1.2 Instalación

“La instalación comienza por la base del talud excavando una zanja transversal a la pendiente de longitud igual o ligeramente superior a la de la fajina y anchura variable, dependiendo del ángulo de pendiente del talud (0,3 - 0,5 m). La profundidad de la zanja debe ser aproximadamente la mitad del diámetro de la fajina.

Después se coloca la fajina en el fondo de la zanja y se la fija al talud introduciendo entre las ramas estacas de madera cada 0,75 - 1 m y clavándolas en el suelo. En los tramos donde las fajinas se

solapan es conveniente colocar estacas extra. La parte superior de las estacas debe quedar a ras con la cara externa de la fajina.

Las estaquillas se instalan generalmente en la cara inferior de las fajinas. Se clavan por debajo y contra la fajina al tresbolillo con las estacas de madera que han sido clavadas anteriormente. Las estaquillas deben sobresalir entre 5 - 10 cm por encima de la parte superior de las fajinas. Los laterales de las fajinas se recubren de tierra húmeda de manera que su parte superior sea claramente visible una vez concluida la instalación.

Desde la base del talud hacia su parte alta se van instalando sucesivas filas de fajinas hasta completar el tratamiento. Siempre que sea posible es conveniente instalar una o dos filas de fajinas sobre la parte superior del talud. La distancia entre las sucesivas filas de fajinas varía en función de la pendiente y la longitud del talud. Es conveniente completar el tratamiento sembrando el espacio existente entre filas consecutivas de fajinas y/o instalando en él materiales de recubrimiento para prevenir la erosión. Si la pendiente es de 2,5 H: 1 V o inferior es suficiente con extender paja o cualquier otro tipo de mucho. Si el talud tiene más pendiente debería recubrirse este espacio con mantas o redes orgánicas en lugar de con mulch”.

## 7. USO DEL FAJINAS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN OTROS PAISES

Este método de control y prevención de deslizamientos de tierra se basa principalmente en seleccionar muy bien el tipo de especie que se utilizara, en el capítulo anterior dimos nombres especies que tienen una gran capacidad de absorber el agua.

Colombia por su topografía posee pisos térmicos por ende tiene gran variedad de climas y por eso la hace muy abundante en flora y fauna, y las especies nombradas en el anterior capítulo existen en el territorio colombiano por ende solo nos debemos preocupar principalmente en la inclinación del talud.

A continuación se mostrara la aplicación de este método en otros países:

### 7.1 ESPAÑA

“Localización: Tramo del río Tenes entre el puente de Cal Unyó y la pasarela de la Campinya.

Objetivo: Defensa del margen frente a la erosión e introducción de las especies de ribera propias de la zona con una técnica que aumente el recubrimiento inicial y el éxito de la planta. La fajina impide el lavado del material de la base del talud, acelera la deposición de finos y mejora las condiciones del margen para su revegetación. Una vez el material vegetal rebrote, se creará una franja lineal en primera línea formada por una sauceda arbustiva que hará de pantalla vegetal y evitará la recolonización del margen por fragmentos de caña provenientes de aguas arriba.

Detalles de la actuación: Para instalar la fajina con garantías de que no se vea afectada en momentos de crecidas y asegurar la viabilidad de la estaca viva, se ha realizado una zanja con medios mecánicos al pie del talud, donde se ha fijado la fajina en profundidad, dejando a la superficie sólo 10cm de los 30-40cm de diámetro totales de la misma”.

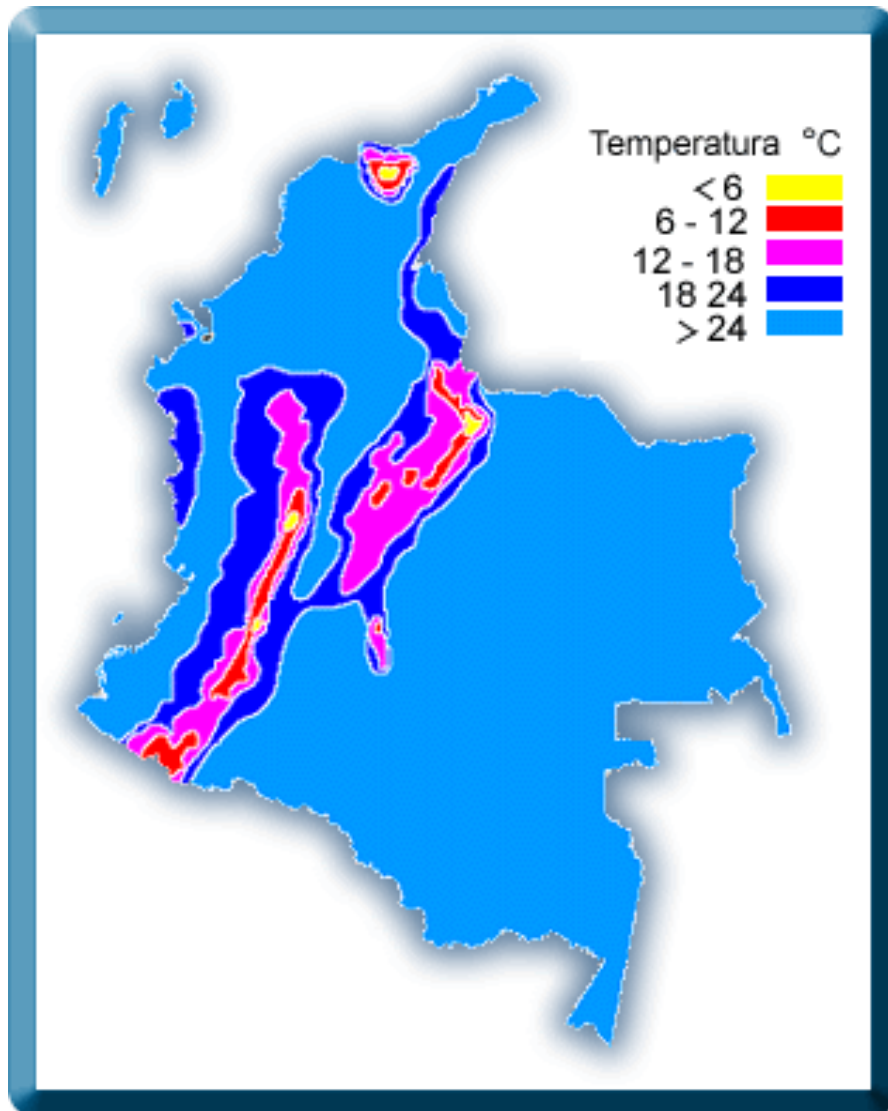
## 8. ADAPTABILIDAD EN EL CLIMA COLOMBIANO:

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%.

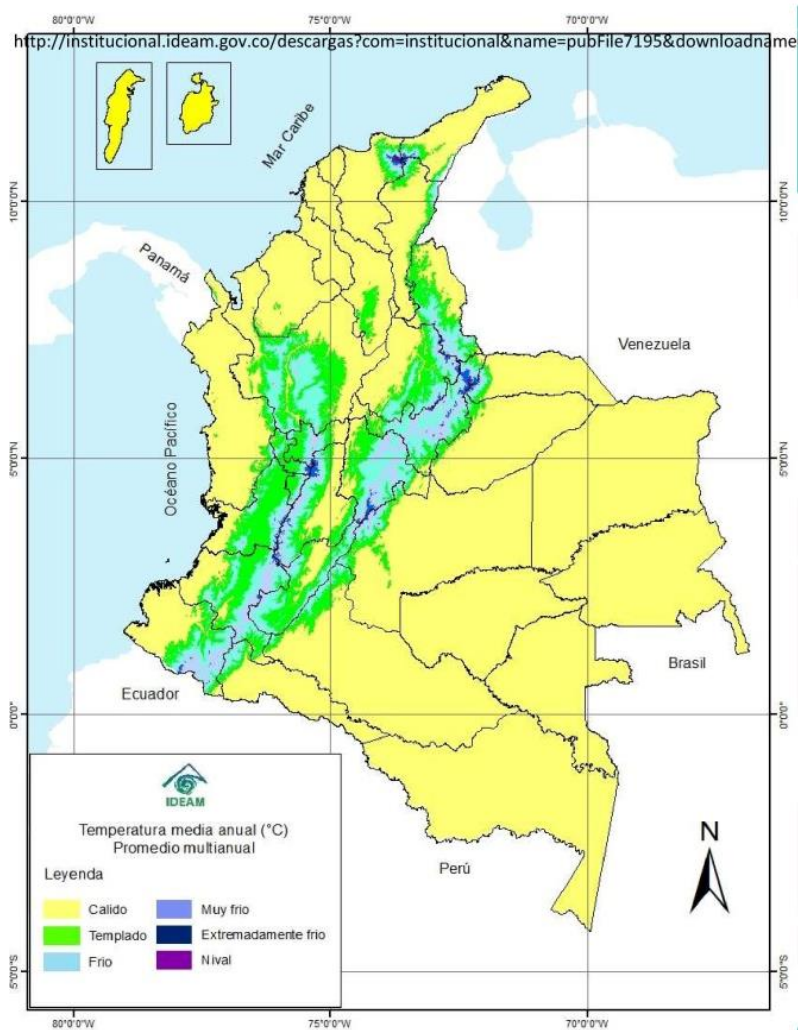
Consecuentemente con el anterior análisis se concluye que en el 100% del territorio las condiciones climáticas son propicias para el desarrollo del sistema de fajinas, en un 80% bajo condiciones óptimas y 20% bajo condiciones soportables a las que este sistema puede adaptarse.

Figura 27. Mapa climático de Colombia



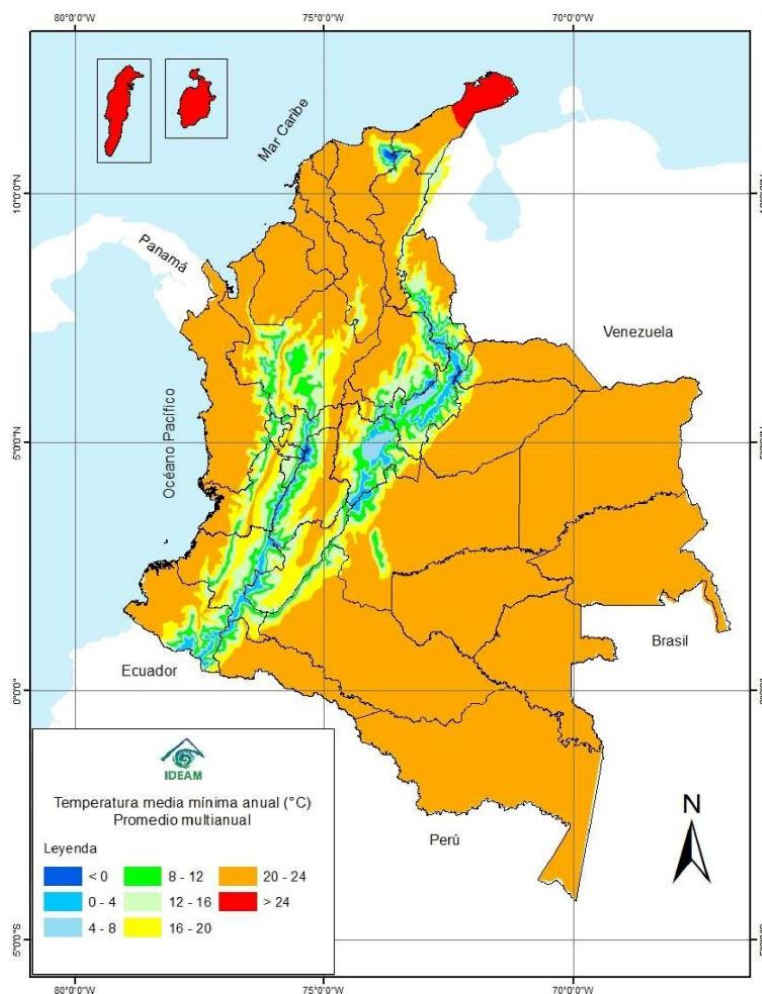
Fuente: AKI Y AI. Mapa temperatura Colombia [en línea]. Bogotá: [citado 6 de mayo 2015]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.akiyai.com/images/easyblog\\_images/7545/mapa\\_temperatura\\_colombia.gif](http://www.akiyai.com/images/easyblog_images/7545/mapa_temperatura_colombia.gif) >

Figura 28. Temperatura Media Promedio multianual



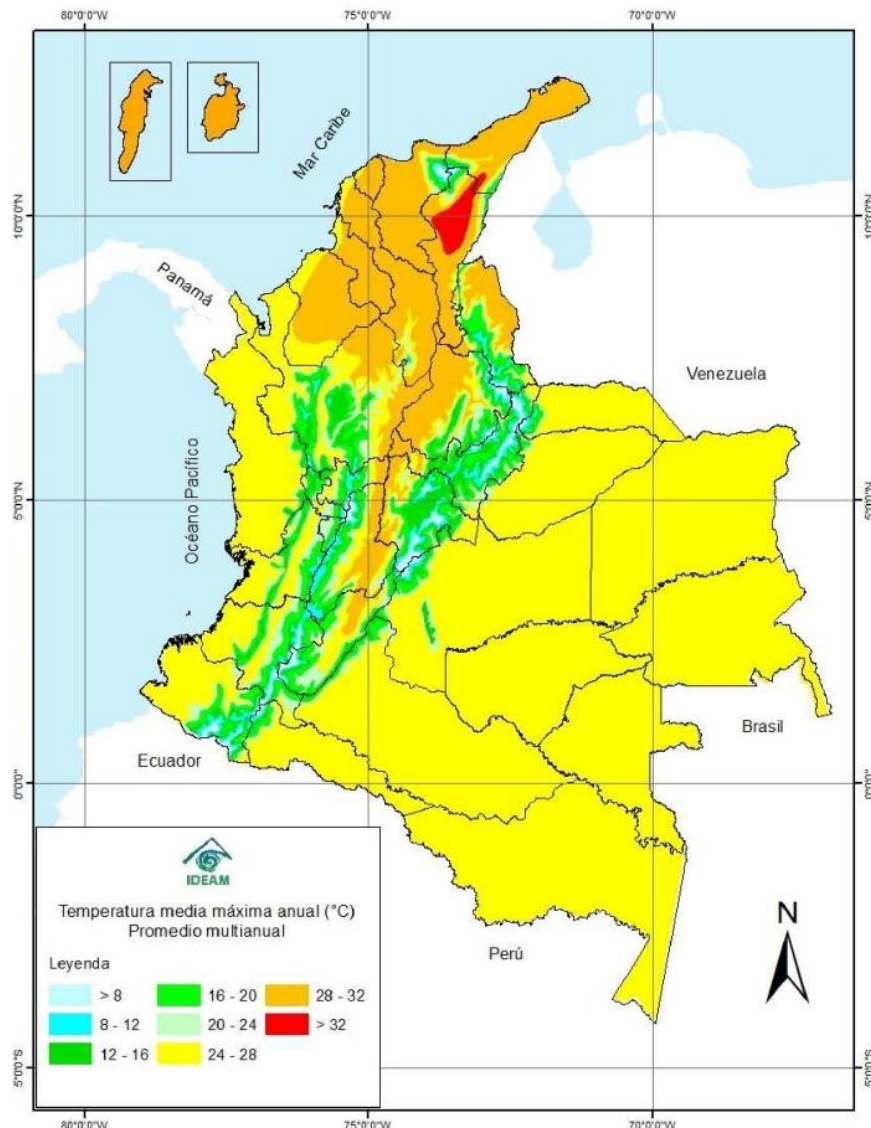
Fuente: ASSOCIAZIONE LIGURE DI METEOROLOGIA - LIMET FORUM. Temperatura Media Promedio multianual [en línea]. Roma: La Asociación [citado 6 de mayo 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.centrometeorologie.it/nindex.php>>

Figura 29. Temperatura Mínima Media Promedio Multianual temperatura



Fuente: ASSOCIAZIONE LIGURE DI METEOROLOGIA - LIMET FORUM. Temperatura Media Promedio multianual [en línea]. Roma: La Asociación [citado 6 de mayo 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.centrometeoligure.it/nindex.php>>

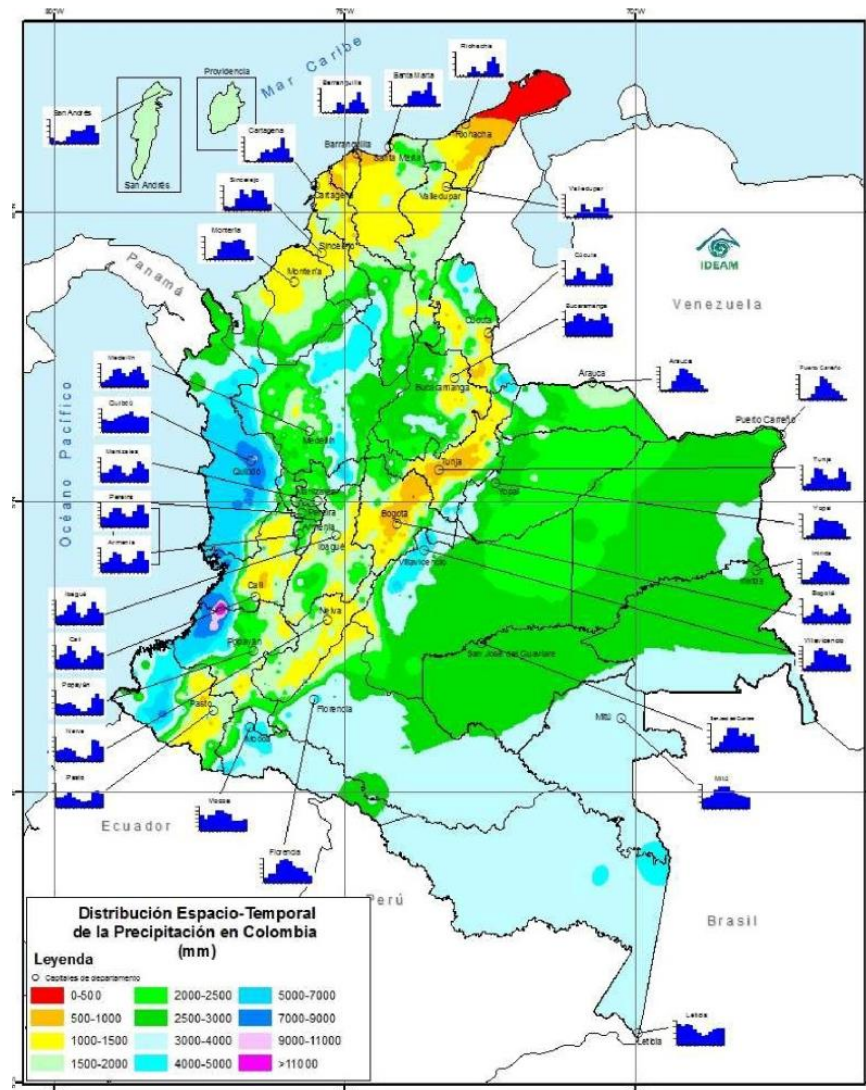
Figura 30. Temperatura Máxima Media Promedio Multianual



Fuente: ASSOCIAZIONE LIGURE DI METEOROLOGIA - LIMET FORUM. Temperatura Máxima Media Promedio Multianual, temperatura [en línea]. Roma: La Asociación [citado 6 de mayo 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.centrometeoligure.it/nindex.php>>



Figura 31. Precipitación Promedio anual en Colombia



Fuente: ASSOCIAZIONE LIGURE DI METEOROLOGIA - LIMET FORUM. Precipitación Promedio anual en Colombia, temperatura [en línea]. Roma: La Asociación [citado 6 de mayo 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.centrometeorologie.it/index.php>>

## 9. IMPLEMENTACION EN COLOMBIA.

Colombia por su topografía posee pisos térmicos por ende tiene gran variedad de climas y por eso la hace muy abundante en flora y fauna, y las especies nombradas en el anteriormente dentro de los cuales se nombró una especie que va muy bien con este sistema, su nombre es el sauce para lo cual cabe aclarar que en el mundo hay 400 especies de sauces y en su mayoría crecen en el hemisferio norte.

*Salix humboldtiana* es una especie de sauce que únicamente llega hasta Suramérica, su extensión está marcada desde México hasta Argentina y Chile; dentro de sus características se evidencia que aguantan fuertes temporadas de invierno, donde pierden todo su follaje. En las regiones tropicales, en cambio, conservan sus hojas todo el tiempo. Este sauce también presenta un gran rango de distribución vertical en las montañas.<sup>15</sup>

De acuerdo a esto el método de estabilización de taludes por medio de fajas tendría un gran campo de acción ya que uno de sus principales elementos vegetales a usar (sauces) se dan en gran parte del territorio colombiano. Es posible observar sauces a orillas de ríos de clima caliente, como el Magdalena, el Cauca y el Amazonas. Asimismo, los sauces se desarrollan en los altos Andes, por ejemplo en los alrededores de Bogotá, hasta alturas cercanas a los 2900 metros sobre el nivel del mar.<sup>16</sup> En síntesis Colombia por su gran variedad de climas se hace fácil la implementación de esta técnica.

A pesar de que Colombia es un país óptimo implementación de esta en técnica se evidencian pequeñas pinceladas de su aplicación en Colombia; como lo fue en el seguimiento hecho por parte del BID al proyecto ubicado en la variante de San Francisco-Mocoa.

“Los días 22, 23 y 24 de Octubre de 2013 se contó con la presencia en el Proyecto, Construcción de la Variante San Francisco-Mocoa, de la Misión de Seguimiento Geotécnico del BID, integrada por los Ingenieros Jaime Carrizosa y Gordon Keller consultores del Banco, acompañados por el Ing. Dagoberto Rocha de la Gerencia de Grandes Proyectos del INVIAS, representantes del Contratista y de la Interventoría en el área ambiental y de geotecnia, con el objeto de hacer seguimiento e

---

<sup>15</sup> SAUCE - SALIX HUMBOLDTIANAMOCOA. El compañero del agua. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 07 julio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <[http://www.opepa.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=400&Itemid=30](http://www.opepa.org/index.php?option=com_content&task=view&id=400&Itemid=30)>

<sup>16</sup> SAUCE - SALIX HUMBOLDTIANAMOCOA. El compañero del agua. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 07 julio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <[http://www.opepa.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=400&Itemid=30](http://www.opepa.org/index.php?option=com_content&task=view&id=400&Itemid=30)>

inspección a las obras de Estabilización de Taludes, entre las que se destacan los métodos de empradización como los de hidrosiembra y fajinas, la utilización de malla, drenes horizontales, observando buenos resultados. Así mismo se chequearon los grados de inclinación de los taludes en los cuales se vienen trabajando para su estabilización.”<sup>17</sup>

Durante la visita realizada al proyecto el equipo consultor BID realizo algunas observaciones dentro de las cuales se resalta el uso de técnicas de bioingeniería para la estabilización de taludes.

A continuación describimos algunas de las observaciones planteadas por BID:

“- La estabilización de taludes tal como se ha observado en el proceso implementado, solo se puede garantizar tendiendo los taludes de acuerdo al diseño formulado por los especialistas en Geotecnia de las partes y con el aval del Instituto.

- Terminar todas las obras de estabilización de taludes que actualmente se hayan iniciado, de tal manera que no se generen afectaciones al quedar descubiertos.

- Utilizar para la empradización, gramíneas combinadas con arbustos en áreas de revegetalización, en lo posible con especies nativas para que su regeneración sea más efectiva. En lo posible no mezclar hidrosiembra con fajinas.

- Cuando se utilice los sacos de fique en la empradización, se deberá cubrir toda el área y no en ajedrez como se ha observado, esto por los buenos resultados y que sirven cuando se deterioran como nutrientes.

- Los procesos constructivos deben ejecutarse en el menor tiempo posible, comenzando con manejos de agua de escorrentía en el perímetro de corte del talud, luego realizar los cortes de material e inmediatamente las obras de estabilización tales como empradización, bermas, cunetas y demás medidas que se requieran en cada caso. En el momento esto no se practica, debido a que se realizan los cortes de material y luego de unos meses se intervienen los taludes con pocas obras de estabilización, y en esa instancia se debe recurrir a realizar obras adicionales para estabilizar los mismos, sobre todo en el frente Mocoa.

-Se recomienda el uso de hidro-siembra para empradizar los taludes, pero se debe mejorar la técnica de aplicación para lograr la efectividad requerida en los taludes. Esta técnica es la que mejores resultados ha

---

<sup>17</sup> Seguimiento geotécnico del BID al proyecto de la variante san francisco - Mocoa. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 20 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://www.varianteinterventoria.com/noticias/noticia-seis.php>>

mostrado y de más rápido efecto para la protección de taludes. Siempre que sea posible, la empradización debe complementarse con el uso de especies arbustivas para mejorar la resistencia superficial de los materiales.”<sup>18</sup>

Figura 32. Frente Mocoa, sector puente Campucana. Chequeo de pendiente en talud K10+300 M.I.



Fuente: Seguimiento geotécnico del BID al proyecto de la variante san francisco - Mocoa. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 20 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://www.varianteinterventoria.com/noticias/noticia-seis.php>>

---

<sup>18</sup> Seguimiento geotécnico del BID al proyecto de la variante san francisco - Mocoa. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 20 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://www.varianteinterventoria.com/noticias/noticia-seis.php>>

Figura 33. Frente Mocoa, sector Campucana. Inspección talud emhradizado, K8+100 M.I.



Fuente: Seguimiento geotécnico del BID al proyecto de la variante san francisco - Mocoa. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 20 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://www.varianteinterventoria.com/noticias/noticia-seis.php>>>

Fuente: SEGUIMIENTO GEOTECNICO DEL BID AL PROYECTO DE LA VARIANTE SAN FRACISCO - MOCOA [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 20 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://www.varianteinterventoria.com/noticias/noticia-seis.php>>>

Figura 34. Frente San Francisco, sector Puente Putumayo. Inspección taludes y terrazas de la explanación sector K4+500



Fuente: Seguimiento geotécnico del BID al proyecto de la variante san francisco - Mocoa. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 20 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://www.varianteinterventoria.com/noticias/noticia-seis.php>>>

## 9.1 LA EROSION CONSUME GRAN PARTE DEL TERRITORIO COLOMBIANO

De acuerdo a un estudio realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), el 40 % del territorio esta erosionado.

“Son 45'461.000 hectáreas (de un total de 114 millones de hectáreas que conforman nuestro mapa), que presentan algún daño, ya sea ligero, moderado o severo. Porque la erosión no se mide en blanco y negro, es un deterioro que se da por etapas, hasta hacerse irreversible.

De ese total, 22 millones de hectáreas tienen erosión ligera y 19 millones presentan erosión moderada, esto es el 20 por ciento del territorio. Los optimistas pensarían que al ser niveles bajos, no es grave. "Pero este es el punto límite entre una situación manejable y una sin retorno. "El país y las corporaciones autónomas no pueden tolerar que casi una tercera parte de su geografía esté al borde de una degradación, que sería muy costosa rehabilitar", explicó Ómar Franco, director del Ideam.

Los focos de erosión más severos están en el Caribe y en la región Magdalena–Cauca. Los departamentos más afectados teniendo en cuenta la magnitud de este deterioro, es decir, que tienen más puntos críticos con respecto a su extensión, son Caldas (con el 82 por ciento con algún grado de erosión), Cesar (81 %), Córdoba (81 %), Cundinamarca (80 %), Santander (79 %) y La Guajira (79 %).”<sup>19</sup>

Figura 35.: ARCHIVO/ EL TIEMPO



Fuente: SILVA HERRERA. JAVIER. Colombia se queda sin piel: erosión afecta a casi medio país. [en línea]. Bogotá: El Tiempo [citado 8 julio 2015]. Disponible en Internet: <http://www.eltiempo.com/estilo-de-vida/ciencia/erosion-en-colombia/15684196>

Partiendo de estudio estudio realizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), el caribe y la región del Magdalena-Cauca son las zonas una mayor erosión. Para lo cual sería viable implementar el método ya que unas de sus principales ventajas es el control de la erosión además de que se contaría con el crecimiento en un ambiente óptimo de uno de sus principales componentes vegetales los sauces.

<sup>19</sup> SILVA HERRERA. JAVIER. Colombia se queda sin piel: erosión afecta a casi medio país. [en línea]. Bogotá: El Tiempo [citado 8 julio 2015]. Disponible en Internet: <http://www.eltiempo.com/estilo-de-vida/ciencia/erosion-en-colombia/15684196>

## 10. VENTAJAS DEL USO DE FAJINA PARA EL CONTROL DE TALUDES

Como es un método que es amigable con el medio ambiente una de sus principales ventajas y que en algunos casos puede ser considerado como desventaja es que el principal uso de las fajinas es el control de erosión, especialmente en zonas de cárcavas. Las fajinas a su vez forman unas líneas decorativas muy agradables al paisaje.

“La utilización de estructuras integradas con vegetación permite una gran variedad de esquemas, incluyendo muros criba, gaviones, llantas usadas, tierra reforzada, bloques de concreto y recubrimientos con diversos materiales sintéticos. La vegetación actúa como refuerzo del suelo, protección contra la erosión y fijador del recubrimiento.”<sup>20</sup>

Otra ventaja es que las fajinas de ladera no es preciso atarlas tan fuertemente como las empleadas en construcciones hidráulicas. Sólo hay que atar las fajinas a intervalos de 50 cm, mientras que en la construcción hidráulica, las ataduras no deben estar a más de 30 cm de distancia.

---

<sup>20</sup> Vegetación y Bioingeniería[en línea] Bogotá: La Universidad [citado 1 julio 2015]. Disponible en Internet: [file:///C:/Users/Empresa%20s.a/Downloads/2318\\_vegetacionybioingenieria%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Empresa%20s.a/Downloads/2318_vegetacionybioingenieria%20(1).pdf) <URL: >

## 11. 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, a partir de la implementación de fajinas, como herramienta empleada para la disminución de la erosión en taludes.

En los suelos altamente erosionables con pendientes pronunciadas y con mucha precipitación pluvial, las fajinas pueden 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 las fajinas son un material vivo, que actúa como un "muro viviente" para evitar la erosión y estabilizar las pendientes.

Los sistemas para el control de erosión, como es el caso de las fajinas, 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.

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

Por último, aunque en la actualidad no se ha intensificado el uso de las fajinas como sistema de estabilización y control de erosión, 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.



## BIBLIOGRAFIA

AKI Y AI. Mapa temperatura Colombia [en línea]. Bogotá: [citado 6 de mayo 2015]. Disponible en Internet: <URL: [http://www.akiyai.com/images/easyblog\\_images/7545/mapa\\_temperatura\\_colombia.gif](http://www.akiyai.com/images/easyblog_images/7545/mapa_temperatura_colombia.gif) >

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>

ASSOCIAZIONE LIGURE DI METEOROLOGIA - LIMET FORUM. Temperatura Media Promedio multianual [en línea]. Roma: La Asociación [citado 6 de mayo 2015]. Disponible en Internet: <URL: <http://www.centrometeoligure.it/nindex.php>>

CENTENO PULIDO, Francisco Antonio .*XVII Seminario Venezolano de Geotecnia Del Estado del Arte a la Práctica*. Disponible en internet <[http://www.centenorodriguez.com/files/Trabajo\\_de\\_FCP\\_SVDG\\_XVII\\_Seminario\\_Nov\\_2002.pdf](http://www.centenorodriguez.com/files/Trabajo_de_FCP_SVDG_XVII_Seminario_Nov_2002.pdf)>

Clima de Colombia [en línea]. Bogotá: [citado 1 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://vivacolombialinda.galeon.com/clima.html>>.

MATAIX, Carmen. Técnicas de revegetación de taludes. [en línea]. Bogotá: [citado 9 noviembre 2014]. Disponible en Internet: <URL: [http://www2.uah.es/tiscar/Complem\\_EIA/cap-X-189-214.PDF](http://www2.uah.es/tiscar/Complem_EIA/cap-X-189-214.PDF)

PÁEZ TORRES, Magda. Cambios Climáticos principal causa de deslizamientos. [en línea]. Bogotá: [citado 12 agosto 2014]. Disponible en Internet: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/cambios-climaticos-principal-causa-de-deslizamientos.html>

SAUCE - SALIX HUMBOLDTIANAMOCOA. *El compañero del agua*. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 07 julio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <[http://www.opepa.org/index.php?option=com\\_content&task=view&id=400&Itemid=30](http://www.opepa.org/index.php?option=com_content&task=view&id=400&Itemid=30)>

Seguimiento geotécnico del BID al proyecto de la variante san francisco - Mocoa. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 20 junio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <<http://www.varianteinterventoria.com/noticias/noticia-seis.php>>

SILVA HERRERA. JAVIER. Colombia se queda sin piel: erosión afecta a casi medio país. [en línea]. Bogotá: El Tiempo [citado 8 julio 2015]. Disponible en

Internet: <http://www.eltiempo.com/estilo-de-vida/ciencia/erosion-en-colombia/15684196>

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>>.>

*UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA; INVIAS. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 0587-03. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. [en línea]. Bogotá: La Universidad [citado 10 Noviembre 2014]. Disponible en Internet: <https://www.google.com/search?q=Convenio+Interadministrativo++587+de+2003+entre+la+Universidad+Nacional+de+Colombia+y+el+Instituto+Nacional+de+V%C3%ADas.+Manual+para+la+Inspecci%C3%B3n+visual+de+Obras+de+Estabilizaci%C3%B3n+Colombia&ie=utf-8&oe=utf-8>*

Vegetación y Bioingeniería[en línea] Bogotá: La Universidad [citado 1 julio 2015]. Disponible en Internet: <URL: <[file:///C:/Users/Empresa%20s.a/Downloads/2318\\_vegetacionybioingenieria%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Empresa%20s.a/Downloads/2318_vegetacionybioingenieria%20(1).pdf)>>