



# Soluciones para la estabilización de taludes mediante tecnologías o procesos basados en la conservación del medio ambiente. Una revisión del estado del arte

Paula Alejandra Revelo Cabrera<sup>1</sup>

Jenny Lucía Huertas Delgado<sup>2</sup>

## Resumen

Esta monografía hace una recopilación de información secundaria, presentando sugerencias, con el fin de ayudar a la toma de decisiones frente a casos de deslizamientos de suelos en taludes de Colombia, específicamente en vías primarias, proporcionando un equilibrio tanto ambiental como socioeconómico.

Se identifica posibles causas que generan la inestabilidad de taludes y, los procesos de mitigación, con tecnologías eficientes de remediación de suelos, entre ellas, los materiales geosintéticos para reforzar taludes.

Una de las causas de deslizamiento de suelos en Colombia se debe a las características topográficas y las condiciones climáticas variables que incrementan la susceptibilidad de la ocurrencia de estos fenómenos. La amenaza de deslizamientos en Colombia está en dominios relativos muy alta I y II, correspondientes a la región occidental: departamento de Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño.

En cuanto a técnicas de prevención o mitigación, se identifica: recubrimiento de las superficies, conformación de talud, control del agua subterránea y superficial, estructuras de contención, mejoramiento del suelo. Es importante conocer las características físicas del suelo, para determinar las enmiendas que optimicen la estructura del mismo y permitan una mejor retención de agua y la penetración de las raíces. Es necesario preparar un suelo, antes de la implementación del manto.

**Palabras clave:** tecnologías; prevención; mitigación; deslizamientos.

---

<sup>1</sup> Universidad Mariana, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: paurevelo@umariana.edu.co

<sup>2</sup> Universidad Mariana, Ingeniería Ambiental, Colombia. Correo: jlhuertas@umariana.edu.co



## Introducción

En la historia de la humanidad ha ocurrido una gran cantidad de catástrofes en núcleos urbanos, relacionados con los deslizamientos de tierra, muy comunes, por razones geográficas o topográficas. Según Arias (2012), en el caso de Colombia, los efectos de los deslizamientos en el territorio nacional son relevantes, debido a las características morfológicas y el relieve accidentado. Esta clase de fenómenos se presenta más frecuentemente en la cordillera Andina.

Los desplazamientos de masa de tierra o rocas por una pendiente, en forma súbita o lenta y su ocurrencia, pueden depender de los siguientes factores: clase de rocas y suelos, orientación de las fracturas o grietas en la tierra, cantidad de lluvia en el área o precipitación, actividad sísmica, actividad humana (cortes en ladera, falta de canalización de aguas, etc.).

En Colombia, es muy frecuente que pase este tipo de fenómenos; en la zona montañosa sobre la cual está asentada la mayor parte de la población, especialmente, es muy probable la ocurrencia de deslizamientos. La diversidad de suelos, topografía y climas de Colombia es una de las condiciones que hacen que el país sea uno de los más susceptibles a este fenómeno.

Por lo anterior, esta monografía trata sobre la susceptibilidad de deslizamiento de suelo que hay en Colombia, principalmente en las vías primarias; por ello, se presenta información sobre deslizamientos de suelos o en masa y, las técnicas eficientes para prevenirlos o mitigarlos, que sean pertinentes para la toma de decisiones frente a casos de deslizamiento de suelos en taludes en Colombia.

## Metodología

La monografía se desarrolló con base en la metodología propuesta por Ordoñez et al. (2018), conjuntamente con la de Gómez-Luna et al. (2014), al plantear diferentes fases que permiten buscar, ordenar y obtener información confiable que ayude a soportar los diferentes estudios relacionados con el comportamiento, causas, efectos y soluciones de los deslizamientos de suelos en taludes de Colombia, fases que fueron acopladas a cada uno de los objetivos formulados, con el fin de dar cumplimiento a cada uno de ellos. A continuación, se describe detalladamente el procedimiento desarrollado para cada una de las fases del estudio:

**Objetivo 1:** Identificar las causas que generan la inestabilidad de los terrenos en las vías primarias de Colombia.

**Fase I:** para el desarrollo de esta fase se utilizó la información disponible, que permitió identificar previamente unidades documentales como: bibliotecas, centros de documentación, centros de referencia, bases de datos, revistas, artículos, tesis de grado, entre otros, que resultaran útiles para la recopilación de información.



**Fase II:** se reconoció, acopió e identificó de manera preliminar, fuentes documentales secundarias, con el propósito de aproximarse a la temática abordada y poder construir el esquema que se trabajó en el estado de arte. Para esto se desarrolló un plan de recopilación por medio de una ficha técnica elaborada en el software Excel, como se muestra en la Tabla 1, la cual permitió organizar jerárquicamente la información recopilada, para proceder a clasificar los textos encontrados, teniendo en cuenta los siguientes criterios: título del artículo, autores, base de datos y tipo de documento, ya sea libro, artículo, entre otros; también se muestra el ítem de observaciones, que indica la información que proporciona cada uno de los estudios recopilados para soportar el estado del arte.

**Tabla 1**

*Ficha técnica de organización de la información*

N.º	Título	Autores	Año de Publicación	Base de Datos	Tipo de documento	Observaciones
-----	--------	---------	--------------------	---------------	-------------------	---------------

**Objetivo 2:** Reconocer técnicas más eficientes para prevenir y recuperar un suelo que ya tuvo alguna serie de deslizamiento de masa.

Se llevó a cabo las siguientes fases:

**Fase I:** destilación de información, considerada como la clasificación de la información secundaria, según Jiménez et al. (2018). Para ello, se desarrolló una matriz en el programa Excel. En primer lugar, se definió cuatro criterios de selección de información, que fueran de interés para este estudio, enfocados a palabras claves y contenido importante, que apoyasen esta investigación, como, por ejemplo, aquellos estudios relacionados con deslizamientos de suelos en Colombia, materiales geosintéticos y sus funciones, análisis de mapas de SIG-OT como, precipitación, vías primarias de Colombia, mapa de susceptibilidad de remoción en masa. En este orden de ideas, los criterios fueron manejados con una escala de valoración de 1 a 10, para llevar a cabo la destilación de información. Asimismo, estos criterios fueron aplicados a la matriz de puntuación, como se observa en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Matriz de puntuación de información recopilada*

N.º	Título	Autores	Año de Publicación	Base de Datos	Tipo Documento	Criterios				Puntaje Total
						1	2	3	4	



Posterior a este proceso, se tuvo en cuenta los índices para identificar las experiencias exitosas y los vacíos de información, como se expone a continuación:

- Se calcula el porcentaje que obtuvo cada ítem o criterio de selección, utilizando la ecuación:

$$PAA\%(n) = \left( \frac{T}{TA} \right) * 100$$

...donde:

PAA %: es el porcentaje de artículos preseleccionados que corresponden al criterio de selección.

T: es el total de artículos preseleccionados que corresponden al criterio de selección.

TA: es el total de artículos preseleccionados.

n: es el número del criterio de selección propuesto.

- Una vez terminada esta parte, se calcula el promedio de porcentaje de los criterios de selección. Con este indicador y el siguiente, se puede determinar si los estudios son de relevancia al momento de ser publicados científicamente, demostrando así la confiabilidad:

$$APPA\% = \frac{PPA\%(1) + PPA\%(n) + \dots + PPA\%(n)}{TC}$$

...donde:

APPA %: es el promedio de porcentajes de preguntas o criterios de selección.

PPA%(n): es el porcentaje de los artículos que responden con los cinco criterios de selección.

TC: total de criterios de selección.

- Finalmente, se calcula un porcentaje de quiebre, mínimo o límite, basándose en la siguiente fórmula:

$$MAPAA\% = \frac{APPA\%}{3}$$



...donde:

MAPAA %: es el porcentaje de quiebre

APPA %: es el promedio de criterios de selección.

Mediante este indicador, se puede identificar si el estudio en la temática de interés es abordado por la literatura científica o no; si lo es, el PAA % deberá ser mayor a este punto de quiebre.

**Fase III:** Interpretar la documentación obtenida, que permitió analizar los conceptos de las disciplinas científicas y crear nuevos con base en ellos, con la visión crítica de los autores y su posterior aporte crítico - personal; así, se estructura y redacta el informe, desarrollando un análisis y discusión de las temáticas que contempla cada uno de los temas abordados, teniendo en cuenta la información secundaria recolectada.

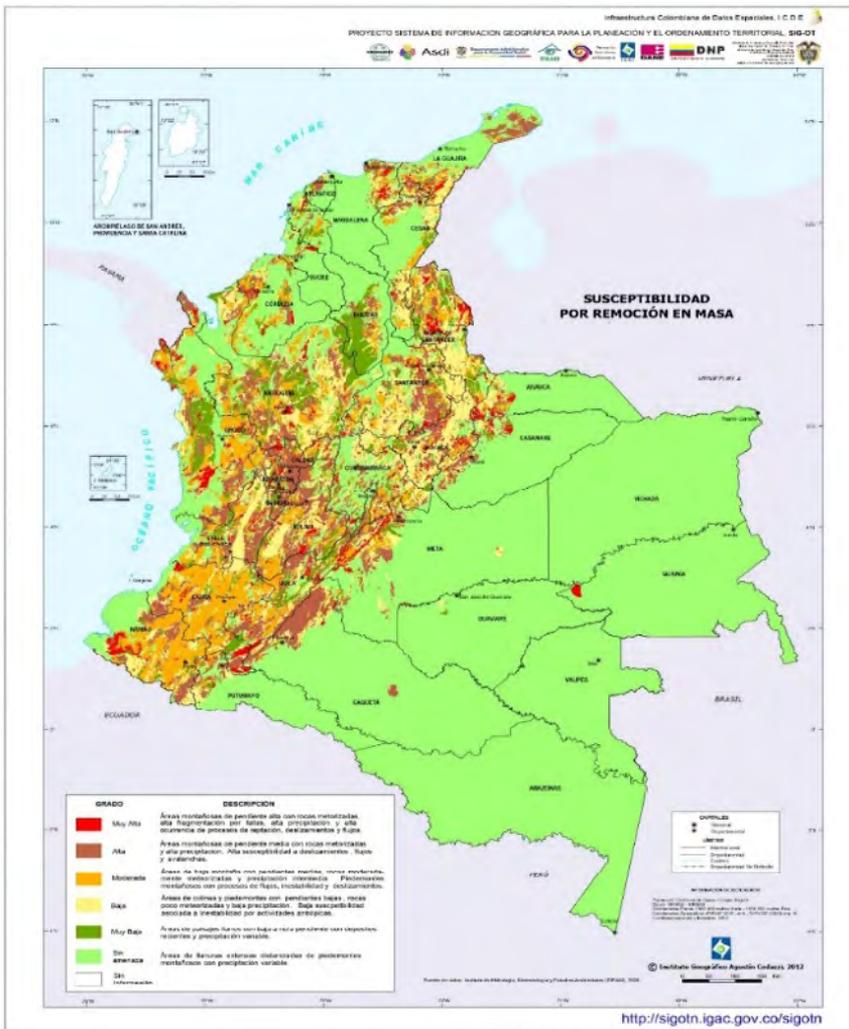
### **Identificación de causas que generan la inestabilidad de los terrenos en las vías primarias de Colombia**

Según López y Fariñas (2008), una de las causas de los derrumbes o deslizamientos de suelos en Colombia se debe a las características topográficas y las condiciones climáticas que intensifican la susceptibilidad de la ocurrencia de estos fenómenos, como una relación entre las pendientes del terreno y la precipitación. Se hace más frecuente en la zona montañosa sobre el cual se ubica la mayoría de población. Es importante considerar que existen diferentes tipos de fallas que permiten una inestabilidad del talud, que pueden ser, tanto de tipo natural, como artificial; sin embargo, para la identificación de las causas que generen la inestabilidad del suelo en las vías, se requiere distinguir las que ocurren en suelos residuales, en suelos transportados o en materiales que han sufrido un proceso de compactación durante la obra.



Figura 1

Mapa de susceptibilidad por remoción en masa de Colombia



Fuente: Servicio Geológico Colombiano (SGC), (2017)

**Tabla 3**

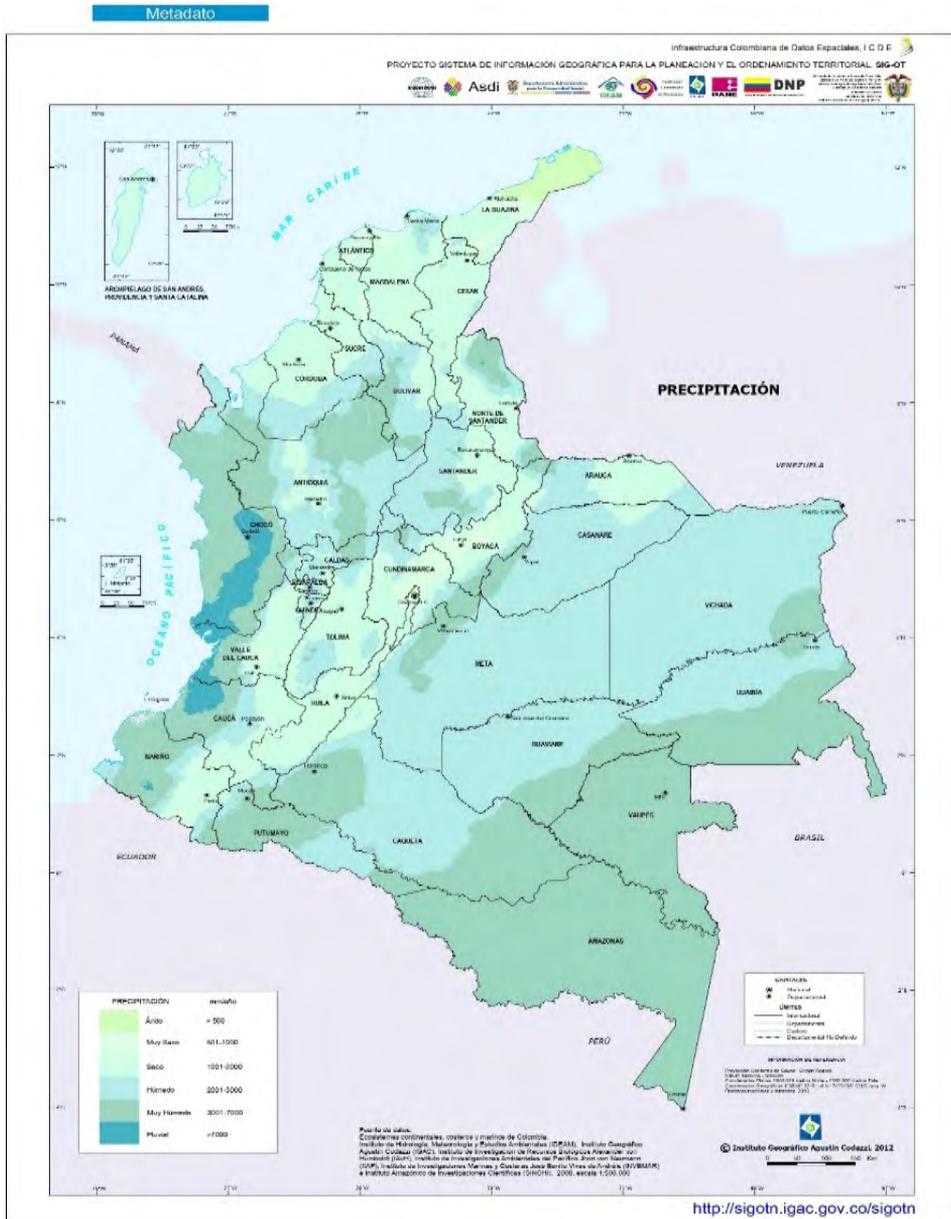
*Descripción de tipos de receptibilidad presentes en el mapa de remoción en masa*

GRADO	DESCRIPCIÓN
Muy alta	Áreas montañosas de pendiente alta con rocas meteorizadas, alta fragmentación por fallas, alta precipitación y alta ocurrencia de procesos de reptación, deslizamientos y flujos.
Alta	Áreas montañosas de pendiente media con rocas meteorizadas y alta precipitación. Alta susceptibilidad a deslizamientos, flujos y avalanchas.
Moderada	Áreas de baja montaña con pendientes medias, rocas moderadamente meteorizadas y precipitación intermedia. Piedemontes montañosos con procesos de flujos, inestabilidad y deslizamientos.
Baja	Áreas de colinas piedemontes con pendientes bajas, rocas poco meteorizadas y baja precipitación. Baja susceptibilidad asociada a inestabilidad por actividades antrópicas.
Muy baja	Áreas de paisajes llanos con baja a nula pendiente con depósitos recientes y precipitación variable
Sin amenaza	Áreas de llanuras extensas distanciadas de piedemontes montañosos con precipitación variable.
Sin información	

En la descripción de este mapa temático sobre la susceptibilidad por remoción en masa en Colombia, se evidencia siete colores.

Figura 2

Mapa de precipitación en Colombia



Fuente: Servicio Geológico Colombiano ([SGC], 2017)

En el mapa temático de precipitación se encuentra una escala de mm/año de precipitación, la cual está desde el rango de <500 mm/año, que va de árido hasta pluvial, que es de >7000 mm/año. Teniendo como referencia este mapa de precipitaciones, se puede observar que, la zona Andina, el Cauca, Chocó y Valle del Cauca, son las zonas en donde más precipitación al año tienen asientos zonas pluviales con un rango mayor a 7000 mm/año.





Chocó es uno de los 32 departamentos de Colombia; su capital es Quibdó; la precipitación en sus municipios o ciudades como El Cantón de San Pablo, Quibdó, el Litoral de San Juan, Istmina y Lloró, tienen una precipitación alta; es decir, una precipitación pluvial mayor a 7000 mm/año; no obstante, la remoción en masa en Quibdó es 'sin amenaza', debido a que cuenta con un área en donde no hay altas pendientes; se encuentra en áreas de llanuras extensas, distanciadas de piedemontes montañosos. En comparación con el municipio de Bajo Baudó, este tiene una precipitación muy húmeda; esto quiere decir que está en 3001 hasta 7000 mm/año, menor a Quibdó, pero está en un grado muy alto de susceptibilidad de remoción en masa, ya que tiene un área montañosa de pendientes altas con rocas meteorizadas, alta fragmentación por fallas, alta precipitación y alta ocurrencia de procesos de reptación. El predominio es de erosión concentrada y diferencial, con presencia de deslizamientos.

Otro de estos fenómenos ocurre también en el Valle del Cauca, cuya capital es Cali. Está ubicado en las regiones Andina y del Pacífico, limitando al norte con Chocó y Risaralda; al este, con Quindío y Tolima; al sur con Cauca y al oeste con Chocó y el océano Pacífico. Tiene una temperatura promedio de 23 y 24 °C, que corresponde al piso térmico cálido; la humedad relativa fluctúa en el rango de 65 % - 75 % (Alcaldía de Santiago de Cali, 2021).

Cabe mencionar que, los factores que son prioritarios en los deslizamientos de suelos, son las pendientes y el tipo de suelo, dado que, lugares con baja precipitación y altas pendientes, que presentan deslizamientos de masa.

Buenaventura, en el Valle del Cauca, tiene una alta precipitación, mayor a 7000 mm/año, que pertenece a una escala pluvial, pero, está en un área sin amenaza de deslizamiento, ya que pertenece a un área en donde hay llanuras extensas, distanciadas de piedemontes montañosos; su grado de riesgo es muy bajo, asociado a áreas de paisajes llanos, con baja a nula pendiente con depósitos recientes. Aun así, el diario El País (2019), en diciembre informó

Un deslizamiento de tierra en la noche de este lunes, provocado por las fuertes lluvias que han caído sobre distintos municipios del Valle del Cauca, [que] obligó al cierre de un carril de la doble calzada Buga - Buenaventura hasta la mañana de este martes.

La emergencia se registró en el kilómetro 36 con 900 metros, sector de Bendiciones, y fue atendida por personal del Instituto Nacional de Vías, Invías, con colaboración de la seccional de Tránsito y Transporte de la Policía Valle.

De acuerdo con el reporte de Invías, se trató de un "derrumbe de 150 metros cúbicos, aproximadamente con varios árboles afectados, que cerró la calzada izquierda de la vía Buga - Buenaventura", lo que provocó restricción temporal. (párr. 1-3)





## Figura 4

### Deslizamiento de tierra en la vía a Palmira



Fuente: El País (2019)

Medellín, capital de Antioquia, la segunda ciudad más poblada del país, está ubicada al noroccidente del territorio nacional, en las regiones Andina y Caribe, limitando al norte con el mar Caribe (océano Atlántico), Córdoba y Bolívar; al este, con Santander y Boyacá; al sur, con Caldas y Risaralda y, al oeste, con Chocó; tiene una temperatura de 20 °C. El departamento presenta una diversidad geográfica que conjuga casi todos los elementos de la geografía colombiana: mar, llanuras, montañas, altiplanos, páramos, ríos, ciénagas y bosques; por lo tanto, los deslizamientos de suelo o masa son ubicados o zonificados, por ejemplo, en La Pintada, Abejorral, La Estrella, Armenia, Olaya, Santafé de Antioquia, Caicedo, San Pedro, Yalí, Belmira, entre otros.

Estas formaciones están afectadas tectónicamente de manera apreciable y, en consecuencia, hay presencia de grandes fracturas y cizallamiento; también, se da una precipitación anual húmeda y seca, tomando rangos de 2001 hasta 3000 mm/año y de 1001 hasta 2000 mm/año.



Uno de los municipios afectados recientemente por este fenómeno, al tener uno de los factores cruciales como la pendiente y el tipo de suelo, es Yalí; el pasado 9 de julio fueron afectadas más de 50 viviendas y 48 familias; además, hubo pérdida de cultivos, quedaron averiadas varias instituciones educativas y, algunas vías secundarias y terciarias presentaron afectaciones (Redacción Colombia, 2020).

### Figura 5

*Municipio de Yalí en el departamento de Antioquia*



Fuente: Redacción Colombia (2020)

Nariño se sitúa en el noreste del nudo de los pastos; su capital es San Juan de Pasto y tiene una temperatura que oscila entre 11 y 16 °C; está ubicada en el extremo suroeste del país, en las regiones Andina y Pacífica, limitando al norte con Cauca, al este con la república de Ecuador y al oeste con el océano Pacífico (Gobernación de Nariño, 2020).

Magüí, Roberto Payán, Ricaurte, Cumbal, Barbacoas, Olaya Herrera, La Tola, Mosquera, El Charco y Santa Bárbara son los municipios y ciudades con más precipitación en el departamento, por su humedad, con una precipitación de 3001 hasta 7000 mm/año; sin embargo, donde hay más deslizamientos en masa es en Barbacoas, Ricaurte, La Llanada, Los Andes, Cumbitara, Policarpa, El Rosario y La Florida, que tienen una precipitación seca de 1001-2000 mm/año, teniendo una susceptibilidad de remoción en masa de grado muy alta, para Ricaurte, Barbacoas y parte de Tumaco, que cuentan con áreas montañosas con pendiente altas, medias y rocas meteorizadas y moderadamente meteorizadas, con alta susceptibilidad de deslizamientos, flujos y avalanchas.

Un deslizamiento de tierra en la vereda El Palmar, ubicada a 2.5 kilómetros de la cabecera municipal de Ricaurte, taponó la vía Pasto - Tumaco.



## Figura 6

*Deslizamiento de suelo en el municipio de Ricaurte, departamento de Nariño*



Fuente: Alcaldía de Ricaurte (Informativo del Guaico, 2020)

### **Reconocimiento de técnicas más eficientes para prevenir los problemas que generan los deslizamientos de masa en Colombia**

Para proponer una solución o técnica más eficiente para prevenir o mitigar deslizamientos de suelo en los taludes en Colombia, es necesario realizar labores de campo; entre ellas, el reconocimiento del área afectada, el análisis de la hidrología, la determinación de la superficie y la medición de la forma residual horizontal y del volumen del material, el uso de mapas y fotografías aéreas, la identificación de las causas y evaluación de daños.

Los sistemas que ayudan a estabilizar un talud en Colombia, según Suárez-Díaz (2001) son:

1. Conformación del talud o ladera
2. Recubrimiento de las superficies
3. Control del agua subterránea y superficial
4. Estructuras de contención
5. Mejoramiento del suelo.

### **Descripción de técnicas de mitigación de deslizamiento de taludes**

#### **Reducción de fuerzas actuantes**

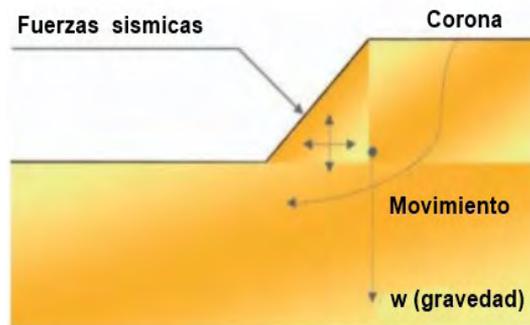
Alberti et al. (2006) sostienen que, estas son el procedimiento por medio del cual se tiende a lograr el equilibrio de las masas del talud, reduciendo las fuerzas



desestabilizadoras que producen el movimiento; el esfuerzo total normal puede incluir un exceso de presión de los poros, que se debe especificar con la introducción de los parámetros de fuerza eficaz.

### Figura 7

*Fuerzas provocadas por gravedad y sismos (actuantes)*



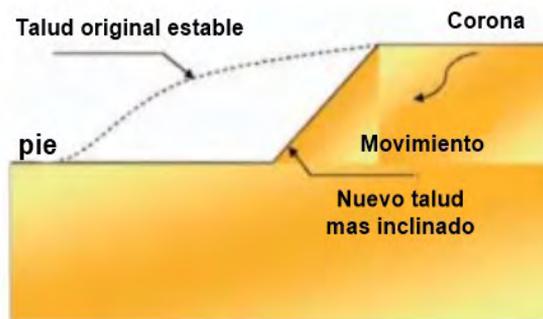
Fuente: Montoya-Orozco (2009)

### Modificación de la geometría del talud

De acuerdo con Alberti et al. (2006), en la modificación de la geometría del talud se logra redistribuir las fuerzas relacionadas con el peso de los materiales y se obtiene una nueva configuración, más estable.

### Figura 8

*Variación de la geometría de un talud por erosión*



Fuente: Montoya-Orozco (2009)

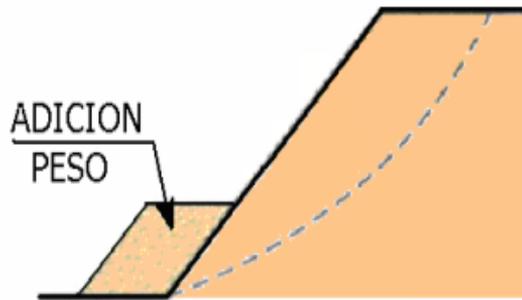
### Empleo de contrapeso al pie del talud

Al colocarle carga adicional a la base de un talud con una inestabilidad de deslizamiento de tipo rotacional, se genera un momento en dirección contraria al movimiento, el cual produce un aumento en el factor de seguridad (Alberti et al., 2006).



## Figura 9

Área de colocación de material al pie del talud

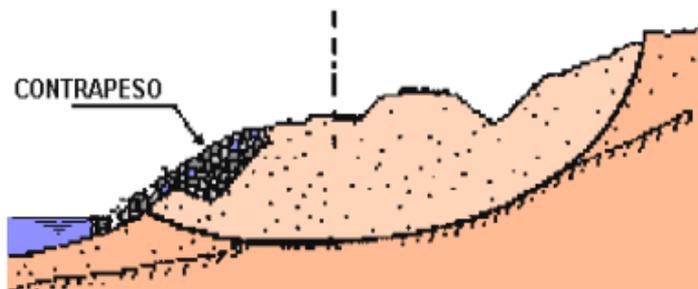


Fuente: Alberti et al. (2006)

El efecto del sistema de contrapeso es el de hacer que el círculo crítico en la parte inferior del talud se haga más largo. Los contrapesos pueden ser estructuras con un muro de contención o rellenos de tierra armada, llantas, etc.

## Figura 10

Colocación de contrapeso en talud



Fuente: Alberti et al. (2006)

Se debe hacer análisis o cálculos para saber el peso requerido, en aras de lograr un factor de seguridad determinado.

## Sistemas de drenaje

Las medidas de drenaje tienen por finalidad, eliminar o disminuir el agua presente en el talud y, por ende, las presiones intersticiales que actúan como factor desestabilizador en las superficies de rotura y grietas de tracción, que son, generalmente más efectivas, ya que el agua es el principal agente desencadenante de los problemas de inestabilidad en taludes, aumentando el peso de la masa inestable, elevando el nivel freático y las presiones intersticiales, creando empujes hidrostáticos, reblandeciendo el terreno, erosionándolo, etc. (Grases et al., 1997).



Los drenajes subterráneos en el talud son proyectados para controlar o limitar la humedad de la superficie y de los diversos elementos de un talud; tienen funciones como, interceptar y desviar corrientes subterráneas, hacer descender el nivel freático y sanear las capas de talud, de material suelto y basura.

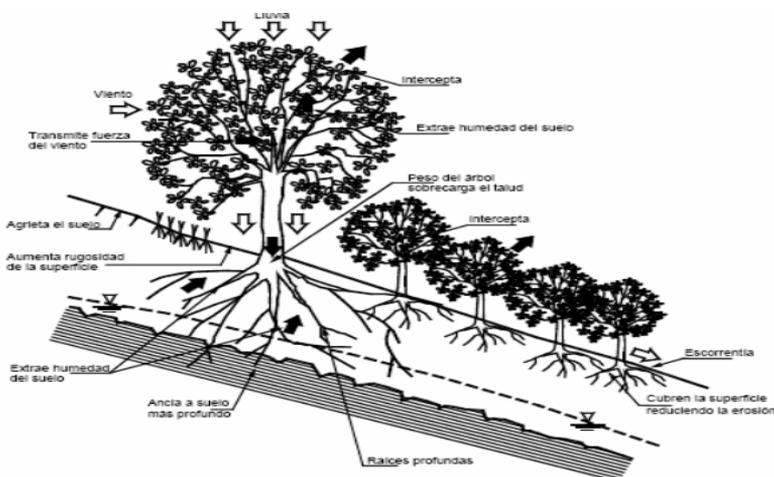
### Técnica de vegetación de taludes

La vegetación constituye una fase de interacción entre el suelo y la atmósfera que se manifiesta a través de una serie de efectos hidrológicos y mecánicos. Cuando se habla de efectos hidrológicos, esta produce una reducción del volumen de escorrentía generado y de su velocidad, de lo cual dependerá el efecto sobre la intensidad y extensión de los procesos erosivos. Como efectos mecánicos, la vegetación aumenta la resistencia al deslizamiento y la estabilidad del suelo, al tiempo que protege la superficie del terreno, ante la acción de algunos agentes externos como el viento (Mataix y López, 2007).

Una de las ventajas de la vegetación en el talud, es que sirve 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 (Marín y Osorio, 2017). En la Figura 11 están expresadas las ventajas que tiene la vegetación en un talud:

### Figura 11

*Efectos hidrológicos y mecánicos de la vegetación sobre una ladera*



Fuente: Mataix y López (2007)

Gale-Fuertes y Triana-Ávila (2018) sostienen que, el clima determina el efecto relativo de la vegetación, para prevenir deslizamientos. En los climas para los cuales la precipitación es muy grande, el efecto de la cobertura vegetal sobre la estabilidad es mínimo y, en áreas de clima árido, la cobertura vegetal puede afectar en forma significativa la ocurrencia de deslizamientos. En la Tabla 4 están expresadas algunas de las especies de vegetación más usadas en Colombia, según información secundaria.

**Tabla 4***Especies de vegetación más utilizadas en Colombia*

Nombre común	Nombre científico
Duranta variegada	<i>Duranta repens</i>
Casco de vaca o pata de vaca	<i>Bauhinia picta</i>
Acacio Rojo	<i>Delonix regia</i>
Lluvia de oro	<i>Cassia fistula</i>
Penitente	<i>Petrea Pubescens Turcz</i>
Anacuma	<i>Carludovica palmata</i>
Caracolí	<i>Anacardium excelsum</i>
Guayacán rosado	<i>Tabebuia rosea</i>
Guayacán amarillo	<i>Tabebuia chysantha</i>
Pomarrosa brasilero	<i>Eugenia malaccensis</i>
Gualanday morado	<i>Jacaranda caucana</i>
Swinglea	<i>Swinglea glutinosa</i>
Myrto	<i>Murraya exótica</i>
Cadmio	<i>Cananga odorata</i>
Aguacate	<i>Persea americana</i>
Mamoncillo	<i>Melicoccus bijugatus</i>

Fuente: López y Fariñas (2008).

Entre las vegetaciones más usadas en Colombia están, según indican Achipiz y Gálvez (2010), el guarango (*Mimosa quitensis*); por su parte, Mahecha et al. (2019), revelan que es el sauco (*Sambucus peruviana*); finalmente, para Arango et al. (2009), el laurel de cera (*Morella pubescens*) es una de las especies más usadas.

### **Materiales geosintéticos para reforzar taludes**

Los materiales geosintéticos, habitualmente son colocados en combinación con otros geosintéticos o, con productos vegetales; en ocasiones, cumplen un objetivo específico, como, por ejemplo, servir de separadores entre capas de materiales o, proteger contra la erosión en forma temporal durante el periodo de construcción (Suárez-Díaz, 2001). La construcción de un refuerzo con materiales geosintéticos depende de las exigencias que tenga el talud, tanto técnicas como estéticas.

**Tabla 5***Materiales geosintéticos y sus funciones*

<b>Tipo</b>	<b>Definición</b>	<b>Función principal</b>
Geotextil	Los geotextiles son productos planos y permeables de origen textil que, por sus propiedades, pueden ser utilizados en obras de geotecnia, en particular y, de ingeniería en general.	Separación Filtración/Drenaje
Geomallas o geogrillas	Las geomallas están formadas por una red regular de elementos integralmente conectados, con aberturas que permiten el intertrabado con los materiales.	Refuerzo
Geomembranas	Membrana esencialmente impermeable usada como barrera de líquido o vapor, para controlar la migración de ellos.	Impermeabilización
Geodren	Geosintéticos que, por su forma, facilitan el drenaje en el plano de líquidos y gases.	Drenaje planar Drenaje vertical
Geoceldas	Geosintético que conforma una matriz de celdas huecas, aptas para confinar suelo, piedra, hormigón u otros materiales.	Confinamiento
Geomantas	Geosintéticos de fibras sintéticas o naturales biodegradables, simples y compuestos, planos, cuya función principal es la protección contra la erosión de superficies, ya sea facilitando el enraizamiento de la vegetación, como por medio de la fijación de la capa de suelo superficial. Las mantas de materiales naturales son conocidas también como 'biomantas'.	Control contra la erosión

Fuente: Shukla (2017).

Es esencial seleccionar el tipo de material geosintético, de acuerdo con los parámetros escogidos; es decir, si es para impermeabilizar, para drenar, entre otros. En zonas como el Meta, Norte de Santander, La Guajira, se observa erosión del suelo por erosión eólica, dado que son lugares áridos, con una precipitación menor a 500 mm/año. En este punto cabe mencionar que, la erosión puede ser tanto hídrica como eólica, teniendo una escala de importancia moderada, severa y, muy severa.

A continuación, un ejemplo de un material geosintético: la biomanta; esta se encuentra en la vía Santa Cecilia La Soledad, en el departamento de Risaralda, Colombia, en donde se puede apreciar el cambio que este talud o ladera tiene, antes y después de su aplicación en el suelo.



## Figura 12

Vía Santa Cecilia- La Soledad, en el departamento de Risaralda, Colombia



Fuente: Reyes-Suárez (2019).

### Mantos de control de erosión permanentes

Están diseñados para aplicaciones donde la vegetación no resiste por sí sola con condiciones de flujo del agua, además de resistir esfuerzos del suelo superficial.

**TRM 500:** Ardila-Ayala y Caicedo-González (2017) mencionan que, el manto provee refuerzo a la vegetación de manera permanente; su longevidad funcional varía entre los siete y los 50 años. El manto consta de fibras cien por ciento sintéticas, estabilizadoras de radiación ultravioleta (UV), que provee de refuerzo a la vegetación y protección contra la erosión en taludes o laderas geotécnicamente estables. Esta categoría debe ser usada especialmente sobre suelo y para inclinaciones mayores a 1H:1V, 45°.

**Características:** los mantos permanentes están compuestos de fibras de polipropileno estabilizadores de UV, conformando un manto resistente y amigable con el medio ambiente.

En la Resolución 1083 de 1996, el Ministerio del Medio Ambiente de la República de Colombia ordena el uso de fibras naturales en obras, proyectos o actividades objeto de licencia ambiental, con el fin de controlar y reducir la contaminación geo esférica, hídrica, del paisaje, sonora y atmosférica en todo el territorio nacional, para el desarrollo y/o ejecución de actividades en obras de revegetalización y/o empradización, para la protección de taludes, construcción de obras de protección geotécnica, estabilización, protección y recuperación del suelo contra la erosión, entre otros.

Según Hernández et al. (2015), considerando la necesidad de sostenibilidad ambiental, la Ingeniería se ha enfocado en la creación de materiales amigables con el ambiente; uno de ellos son las biomantas con fibra de coco, que provienen



de una fuente natural, renovable biodegradable y, con una elasticidad superior, si se compara con las demás fibras vegetales, demostrando una gran resistencia a la humedad y al desgaste. Sus principales aplicaciones están dadas en carreteras, ferrovías, control de erosión, mejoramiento de áreas degradadas, protección de cursos de agua, muros de retención con cubierta vegetal, restauración de características de los rellenos y, acabados de gaviones (Mwasha, 2009).

## Conclusiones

Es fundamental tener en cuenta los factores y características del suelo, para hacer una clasificación de deslizamientos y determinar el tipo de movimiento del suelo. La mayoría de deslizamientos en masa en Colombia tienen presencia en dominios de amenaza relativa muy alta I y II, correspondientes a la región occidental, que comprende casi todo el departamento del Chocó y las zonas costeras de los departamentos del Valle del Cauca, Cauca y Nariño.

Las diversas técnicas de protección y mitigación de deslizamiento de taludes permiten seleccionar la más óptima, de acuerdo con las características geomorfológicas que tenga la zona a implementar.

Es importante que, en el momento de revegetación del talud, se considere la pendiente, el tipo de suelo, la localización geográfica, para escoger una vegetación variada y adecuada al suelo a tratar; para ello, es necesario realizar un mantenimiento constante hasta que la vegetación sea autosuficiente; de igual forma, preparar un suelo orgánico, antes de la implementación del manto.

La desaparición de la vegetación es una de las principales causas de erosión de los suelos en los taludes, por lo cual es primordial tratar este factor desde el inicio de una obra de ingeniería, aplicando técnicas que sean favorables con el medio ambiente, utilizando revegetación en taludes, protegiendo el agua de escorrentía, controlando la infiltración del agua, todo lo cual mejora la cohesión del suelo, gracias a las raíces.

## Referencias

- Achipiz, J. y Gálvez, G. M. (2010). *Descripción morfológica y potencial forrajero del guarango (mimosa quitensis) en los municipios de Popayán, Silvia, Totoró y Puracá, departamento del Cauca* [Tesis de Pregrado, Universidad del Cauca]. <https://1library.co/document/qvj7r71q-descripcion-morfologica-potencial-forrajero-quitensis-municipios-popayan-departamento.html>
- Alberti, J. R., Canales, R. E. y Sandoval, B. H. (2006). *Técnicas de mitigación para el control de deslizamiento en taludes y su aplicación a un caso específico* [Tesis de Pregrado, Universidad de El Salvador]. <https://es.scribd.com/doc/277485613/Tecnicas-de-mitigacion-para-el-control-de-deslizamientos-en-taludes-y-su-aplicacion-a-un-caso-especifico-pdf>

- Alcaldía de Santiago de Cali. (2021). Datos de Cali y el Valle del Cauca. [https://www.cali.gov.co/gobierno/publicaciones/227/datos\\_de\\_cali\\_y\\_el\\_valle\\_del Cauca/](https://www.cali.gov.co/gobierno/publicaciones/227/datos_de_cali_y_el_valle_del Cauca/)
- Arango, O., Hurtado, A., Castillo, P. y Santacruz, M. (2009). Estudio de las condiciones de extracción por arrastre con vapor del aceite esencial de laurel de cera (*Morella pubescens*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(2), 40-48.
- Ardila-Ayala, P. A. y Caicedo-González, N. L. (2017). *Beneficios de los mantos de control de erosión temporal para la recuperación y protección de taludes y representación en un modelo físico de laboratorio* [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14533>
- Arias, B. (2012). Deslizamiento en taludes inducidos por altas precipitaciones en vías intermunicipales en Colombia [Tesis de Especialización, Universidad Libre]. <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7116/AriasTorresBenjamin2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gale-Fuertes, D. A. y Triana-Ávila, D. C. (2018). *Identificar agentes, daños patológicos y alternativas de mitigación en las bermas localizadas en el parque Altos de la Estancia en la localidad de Ciudad Bolívar en la ciudad de Bogotá D.C.* [Tesis de Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/13434>
- Gobernación de Nariño. (2020). Plan Departamental de Extensión Agropecuaria Departamental 2020-2023. <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/PDEA/Nari%C3%B1o.pdf>
- Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., Aponte-Mayor, G. y Betancur-Buitrago, L. A. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *Dyna*, 81(184), 158-163. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n184.37066>
- Grases, J., Contreras, I. y Grases, G. (1997). *Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales - caso estudio*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Hernández, I. R., Perdomo, D. y Rincón, J. D. (2015). Implementación de fibras naturales en la estabilidad de taludes. *13<sup>th</sup> LACCEI Annual International Conference: Engineering Education facing the grand challenges. What are we doing?* Santo Domingo, República Dominicana. [https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3388/Implementacion\\_fibrasnaturales\\_estabilidad\\_taludes.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3388/Implementacion_fibrasnaturales_estabilidad_taludes.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Informativo del Guaico. (2020, 18 de mayo). Deslizamiento de tierra en el sector de Ricaurte taponó la vía Pasto - Tumaco. <https://informativodelguaico.com/deslizamiento-de-tierra-en-el-sector-de-ricaurte-tapono-la-via-pasto-tumaco/>



- Jiménez, R. A., Martínez, Á. A., Ordoñez, H. A. y Erazo, E. L. (2018). Herramienta computacional para análisis de información de tipo cualitativo, utilizando la técnica de la destilación de información. *Boletín Informativo CEI*, 3(2), 39-41.
- López, C. y Fariñas, J. L. (2008). *Manual de estabilización y revegetación de taludes*. Carlos López Jimeno y Madrid.
- Mahecha, G. E., Ovalle, A., Camelo, D., Rozo, A. y Barrero, D. (2019). *Vegetación del territorio CAR*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR.
- Marín, R. J. y Osorio, J. P. (2017). Efectos de la vegetación en la estabilidad de laderas: una revisión. *Revista Politécnica*, 13(24), 113-126.
- Mataix, C. y López, J. (2007). Factores ambientales: funciones y uso de la vegetación en la estabilización de laderas. En *Jornadas Técnicas sobre Estabilidad de Laderas en Embalse*. [http://oph.chebro.es/DOCUMENTACION/Congresos\\_Seminarios/Laderas2007/Ponencias/6%20Lopez%20Factores.pdf](http://oph.chebro.es/DOCUMENTACION/Congresos_Seminarios/Laderas2007/Ponencias/6%20Lopez%20Factores.pdf).
- Montoya-Orozco, A. (2009). *Confiabilidad en estabilidad de taludes* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3476/montoyaorozco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mwasha A. (2009). Coir fibre: A sustainable engineering material for the Caribbean Island. *International Journal of Bahamian Studies*, 15, 36-44. <https://doi.org/10.15362/ijbs.v15i0.108>
- Ordoñez, K. M., Estrada, C. C. y Ramos, Y. A. (2018). Comparación de la degradación y manejo de los suelos en **Córdoba, La Guajira y el Chocó** - Colombia. <https://es.slideshare.net/yanarleyramospalacios/presentacion-degradacion-y-manejo-de-suelos-en-cordoba-guajira-y-chocol-estrada-ordonez-ramos>
- Redacción Colombia. (2020, 9 de julio). Declaran calamidad pública en Yalí, Antioquia, por inundaciones. *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/colombia/medellin/declaran-calamidad-publica-en-yali-antioquia-por-inundaciones-article/>
- Redacción El País. (2019, 31 de diciembre). Normalizan paso en la vía Buga – Buenaventura tras restricción por deslizamiento de tierra. *El País*. <https://www.elpais.com.co/valle/deslizamiento-de-tierra-obliga-al-cierre-de-un-carril-en-la-via-buga-buenaventura.html>
- Resolución 1083. (1996, 4 de octubre). Ministerio del Medio Ambiente. [https://www.maciasabogados.com/archivos/documentos\\_normatividad/Resolucion1083de1996.481.pdf](https://www.maciasabogados.com/archivos/documentos_normatividad/Resolucion1083de1996.481.pdf)

- Reyes-Suárez, Y. R. (2019). Técnica de revegetalización utilizada en el análisis de estabilidad de un talud [Ponencia]. *VII Congreso Internacional de Ingeniería Civil*. Universidad Santo Tomas. <https://docplayer.es/214679191-Tecnica-de-revegetalizacion-utilizada-en-el-analisis-de-estabilidad-de-un-talud.html>
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2017). *Las amenazas por movimientos en masa de Colombia. Una visión a escala 1:100.000*. Servicio Geológico Colombiano (SGC).
- Suárez-Díaz, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Universidad Industrial de Santander.
- Shukla, S. K. (2017). *An introduction to Geosynthetic Engineering*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b21582>