

**RECUPERACION DE TALUDES A TRAVES DE OBRAS DE BIOINGENIERIA,  
SOBRE LA METODOLOGIA BASADA EN EL MATERIAL DE GUADUA  
CASO DE ESTUDIO: ZONA ANDINA – PARAMO DE SUMAPAZ**



Wilmar Alonso Hernández Bonilla

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
Especialización en planeación ambiental y manejo de recursos naturales

Director:  
ING. EDNA LINEY MONTAÑEZ HURTADO

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA PLANEACION AMBIENTAL Y MANEJO DE RECURSOS NATURALES  
BOGOTÁ, 11 DE JULIO DE 2018**

**RECUPERACION DE TALUDES A TRAVES DE OBRAS DE BIOINGENIERIA,  
SOBRE LA METODOLOGIA BASADA EN EL MATERIAL DE GUADUA  
CASO DE ESTUDIO: ZONA ANDINA – PARAMO DE SUMAPAZ**

**RECOVERY OF SLOPES THROUGH WORKS OF BIOENGINEERING, ON THE  
METHODOLOGY BASED ON THE GUADUA MATERIAL  
CASE STUDY: ANDEAN AREA - PARAMO DE SUMAPAZ**

Wilmar Alonso Hernández Bonilla  
Aspirante al Título de especialización en planeación ambiental y manejo de  
recursos naturales, “Universidad Militar Nueva Granada”  
u2700846@unimilitar.edu.co  
wilmar.geo.91@gmail.com  
Bogotá

**RESUMEN**

Colombia es un país, poseedor de infinidad de recursos naturales, distribuidos en paramos, humedales y fuentes hídricas que de una u otra manera han generado que se focalice en preservar y mantener el hábitat sin mayor intervención posible, por lo tanto se ha buscado siempre en la mejor alternativa de recuperar de diversas maneras a través de soluciones amigables de bajo impacto estructural como social. La ubicación de estas soluciones a partir de obras siempre ha sido en pro de lugares que tengan estas características y el Páramo de Sumapaz no es ajeno a ello, ya que cuenta con franjas de vegetación de bosque altoandino, andino y subandino, que en temporadas de precipitación alta, ocasiona problemas erosivos y de deslizamientos de tierra, conllevando a restricción de las vías del sector, adicional a ello la gestión de riesgos por el aumento de los deslizamientos y erosiones superficiales en el Páramo de Sumapaz no es la mejor, lo que indica que se requiere una intervención oportuna desde múltiples enfoques, estructurales, sanitarios, sociales y ambientales.

Debido a estos problemas se buscó insistentemente implementar soluciones amigables con el ambiente, que brinden una solución oportuna y eficiente en estas condiciones, por ello se planteó obras de bioingeniería soportadas bajo el material de Guadua, ya que este material aporta una solución de creciente interés por sus beneficios ambientales y económicos. Este artículo se desarrolló en base a la nueva inclusión de esta alternativa para estabilizar y reconformar los taludes pertenecientes al Páramo de Sumapaz, con una propuesta de desarrollo agradable y amigable para el ambiente con un bajo impacto social.

Para la utilización de estas pantallas vivas, se realizó un reconocimiento de la zona, a través de una exploración de campo, con el fin de extraer muestras y tener una clasificación del material predominante de la zona, para con ello puntualizar la profundidad de hincado de estas pantallas. Dicho esto se realizó la verificación de la implementación de esta solución ingenieril a través del programa "SLIDE 5.0" el cual analizo e interpreto que bajo esta solución los factores de seguridad aumentaban disminuyendo el riesgo de erodabilidad de los taludes pertenecientes al Paramo de Sumapaz.

**Palabras claves:** Obra de bioingeniería, Guadua, Gestión de riesgos, Problemática ambiental, Bajo presupuesto, beneficios ambientales, resultados (mediano a largo plazo).

### **ABSTRACT**

Colombia is a country, possessor of an infinity of natural resources, distributed in paramos, wetlands and water sources that in one way or another have generated a focus on preserving and maintaining the habitat without major intervention, therefore it has always been sought in the best alternative to recover in various ways through friendly solutions with low structural and social impact. The location of these solutions from works has always been in favor of places that have these characteristics and the Sumapaz Paramo is no stranger to it, since it has strips of vegetation of high Andean, Andean and sub-Andean forests, which in seasons of high precipitation, causes erosion problems and landslides, leading to restriction of the roads of the sector, in addition to this risk management by increasing landslides and surface erosions in the Sumapaz Paramo is not the best, which indicates that a timely intervention is required from multiple approaches, structural, health, social and environmental.

Due to these problems it was insistently sought to implement friendly solutions with the environment, which provide a timely and efficient solution in these conditions, for this reason, bioengineering works supported under the Guadua material were proposed, since this material provides a solution of growing interest for its environmental and economic benefits. This article was developed based on the new inclusion of this alternative to stabilize and reconform the slopes belonging to the Sumapaz Paramo, with a proposal of pleasant and friendly development for the environment with a low social impact.

For the use of these live screens, a reconnaissance of the area was carried out, through a field exploration, to be able to extract samples and have a classification of the predominant material of the area, in order to specify the depth of driving of these screens. That said the verification of the implementation of this engineering solution was carried out through the "SLIDE 5.0" program, which analyzed and interpreted that under this solution the security factors increased, reducing the risk of erodability of the slopes belonging to the Sumapaz Paramo.

**Keywords:** Work of bioengineering, Guadua, Risk management, Environmental problems, Low budget, environmental benefits, results (medium to long term)

## INTRODUCCION

A lo largo de la historia, se han desarrollado estrategias eficientes y eficaces que sean capaces de convertir propuestas robustas en soluciones ambientales, las cuales aborden, construyan y mitiguen los problemas que más aquejan a las obras civiles debido a la presencia de aguas por escorrentía y suelos erodables característicos en nuestra región.

Los desprendimientos de suelo denominados reptación, avalanchas, son un común denominador a la hora de hablar de movimientos en masa, que de una u otra manera se deben controlar a través diversas alternativas las cuales sean capaces de diversificar estas clasificaciones de amenaza y puedan mitigar la categoría a baja.

Bajo lo anterior, la existencia de estas amenazas ocurre cuando el suelo presenta un comportamiento mecánico-estructural malo dado que tendrá una cohesión baja y la compactación del material es mínima debido a un proceso de baja consolidación, son conclusiones que se infieren a menudo cuando ocurre un proceso de desprendimiento de material en los taludes de la geografía de nuestro país.

Cuando se piensa en generar una alternativa de estabilización debido al constante movimiento de un talud por las características anteriormente mencionada, la primera solución que

se viene a la mente es colocar un muro de contención compuesto por material de concreto, pero porque este material, este material posee características únicas desde todos los puntos de vista, dado su gran comportamiento permite controlar y a la vez evitar aumento del nivel freático, aguas sub-superficiales, manejo de escorrentía problemas diarios que aquejan a nuestra región. Nuestros paisajes están saturados de la presencia de concreto por todo lado, que a nivel visual como económico generan un gran impacto hacia la sociedad.

Es por ello que se ha visto la necesidad de profundizar e incentivar con la inclusión de soluciones y alternativas amigables con el medio ambiente, capaces de aportar ese plus de soporte y a la vez mitiguen el problema sin llegar a la inclusión del material concreto en alguna de estas soluciones

Las vías Colombianas todos los días generan problemas de deslizamiento, pero que poco a poco ya se ha empleado alternativas y soluciones ambientales con el medio ambiente, como sucedió en la Vía PR 55+950 vía Manizales – Mariquita, se identificaron sitios puntuales inestables críticos en el corredor vial los cuales estaban ocasionando un desprendimiento parcial y poco a poco total de la banca, conllevando al paso restringido a un solo carril por parte de los vehículos que circulaban por ese sector; dada

esta situación se ha decidido tomar medidas urgentes sin llegar a interrumpir el acceso de un punto a otro, además a ello se tenía un presupuesto bajo para dicha intervención por parte de la región; por lo tanto se determinó realizar una intervención inmediata de ingeniería. Por lo tanto se plateo y se organizó una solución ambiental dado que la condición geomorfológica de la zona lo permitía, llevando a colocar pantallas de Guadua de 47 m a lo largo del sector crítico. Estas pantallas basadas en material Guadua debieron desarrollarse en el menor tiempo posible dado que existe en la zona una falla geológica activa, lo que imposibilita realizar perforación y cortes demasiados profundos al talud dado que si se incrementa estas actividades el proceso intensifica el deslizamiento de talud. [1]

La aplicación de estas pantallas vivas permiten reconformar el talud en el menor tiempo posible, mitigan la envolvente de falla, si en dado que se encontrara en una falla activa, permiten la renaturalización del talud, brindando capacidad de resiliencia y lo más importante permite que la economía de la obras sea mucho menor, todo esto si se llega a realizar estas pantallas bajo el material principal de la Guadua

Porque se piensa en este material, ya que cumple con las consideraciones para la ingeniería de tracción y compresión, dado que no se clasifica como un árbol, porque se considera como una hierba gigante, que al menos por su tamaño mayor a los 30 m, ha sido utilizado para el diseño convirtiéndose como en la mejor elección para ser lo más amigable con

el medio ambiente. Dadas estas consideraciones se espera que este material cumpla con resistencias a tensión y se pueda hincar en el material predominante para lograr reconformar los taludes del Caso de estudio (Páramo de Sumapaz), ya que estos taludes presentan problemas característicos y a la vez similares de la Vía PR 55+590 Manizales – Mariquita.[2]

Se quiere mencionar y resaltar que el Páramo de Sumapaz permitiría la implementación de esta metodología dado que la geomorfología y geología de la zona permite el hincado de la Guadua en los taludes críticos de la zona de estudio, por otro lado la alternativa de esta metodología disminuye el impacto que genera las obras de estabilización en zonas de un alto contenido de recursos naturales, permitiendo completar las actuaciones de estabilización con actividades de revegetación, dado que las plantas protegen la superficie del suelo en contra de la erosión. El uso de estas plantas está frecuentemente asociadas al empleo de materiales secundarios, cuya principal finalidad es establecer mejores condiciones físicas de implantación, cuando el material vegetal no tiene prácticamente efectividad. [2]

## **1. MATERIALES Y METODOLOGIA**

### **1.1 FACTORES DE IMPORTANCIA**

La Guadua angustifolia es una especie de bambú nativo de la zona norte de Sur América. Dicha especie, ha tenido un papel protagónico en el desarrollo de Colombia, al ser utilizada

como material de construcción desde el periodo de colonización de la región centro occidental del país (siglos XVIII y XIX), gracias a sus excelentes propiedades físicas y mecánicas, lo cual la ha convertido en un material predominante en edificaciones y otras obras del hoy. [3]

Ambientalmente, la energía necesaria para procesar el bambú en aplicaciones estructurales es menor la de otros materiales tradicionales como el acero y el concreto.

A diferencia de otro tipo de maderas, la Guadua angustifolia cuenta con un periodo corto de renovación, ya que un tallo puede crecer 18 cm al día y tomar de 3 a 5 años para alcanzar la madurez completa, lo que le permite catalogarla como un material de bajo costo.

El bambú es anisotrópico, y se caracteriza por tener altas propiedades mecánicas en la dirección axial gracias al contenido de fibras en esa dirección, en comparación con bajas propiedades mecánicas en las direcciones transversales, donde no cuenta con fibras de refuerzo (Torres, et al., 2007:256). [4]

Algunos valores característicos de resistencia del culmo de Guadua angustifolia se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1. Propiedades de la Guadua**

Ensayo	(Luna, et al 2014)	(Ardila Pinilla, 2013)	(Ghavami & Marinho, 2005)
Corte	3.5	2.5	
Compresión paralela a la fibra	20.3	31.7	29.5
Tracción paralela a la fibra	40.7	31.9	87
Flexión	37.4	30.6	
Compresión perpendicular a la fibra	1.7	2.3	

Fuente: Edificios en base de estructural de bambu

En la tabla 1 se presentan los valores de resistencia de la Guadua dado que en este estudio tiene una gran importancia, debido a las propiedades que pueda aportar hacia las pantallas de bioingeniería, los valores adoptados por diferentes autores permite concluir que el material de Guadua se comporta en excelente manera a tracción, y soporte la resistencia a una aceleración pico máximo de sismo, por lo que para la zona de estudio es gran importancia, dado que según la geología de la zona, se encuentran fallas existente en el Páramo de Sumapaz.

Una de las aplicaciones de la Guadua angustifolia en obras geotécnicas es la estabilización de laderas con trinchos en guadua, la cual es una técnica empírica utilizada como sistema de contención de suelos en zonas rurales de Colombia, donde los taludes son de alta pendiente y pueden llegar a ser inestables. [4].

Este sistema es una alternativa de bioingeniería para la estabilización de taludes, y está constituido por la construcción en forma escalonada de muros con Guadua angustifolia, que conforman una serie de terrazas para tratamientos de recuperación de la

cobertura vegetal. Los trinchos soportan la masa de suelo a través de una pared compuesta por guaduas organizadas horizontalmente, a su vez, son soportadas por pilotes en guadua embebidos en el suelo para resistir la presión lateral transmitida. [4].

Así pues, el comportamiento estructural del trincho en guadua (deflexiones, deformaciones, resistencia, etc.) estará determinado por el comportamiento de sus pilotes, que cumplen la función de cimentación de la estructura de contención, al ser los encargados de transmitir la acción de las cargas hacia el suelo o roca de soporte en condiciones de seguridad y deflexiones tolerables bajo conceptos de estabilidad del talud. [5]

#### - **Propiedades de la guadua**

Hallada en estado natural en Colombia, alcanza los 30 metros de altura y los 22 centímetros de diámetro y en este país se han identificado dos variedades que también son únicas:

La *Guadua angustifolia bicolor* y *Guadua angustifolia Nigra*.

La guadua es un bambú leñoso que pertenece a la familia de las gramíneas, taxonómicamente a las Poaceae de la cual existen realmente en el mundo cerca de 1.000 especies, 500 de ellas en América. De éstas, aproximadamente 20 conforman las especies prioritarias de bambú y dentro de ellas Colombia tiene una que posee las mejores propiedades físico-mecánicas del mundo y extraordinaria durabilidad [6].

Esta especie está dotada y rodeada de condiciones que la hacen ideal para distintos campos de aprovechamiento, ya que se trata de un recurso sostenible y renovable porque se automultiplica vegetativamente, es decir, que no necesita de semilla para reproducirse como ocurre con algunas especies maderables.

Tiene, además, alta velocidad de crecimiento, casi 11 cm de altura por día en la región cafetera y afirman que en sólo 6 meses puede lograr su altura total, hechos positivos si se tiene en cuenta que uno de los problemas planteados para la siembra de especies maderables de reforestación, es el tiempo extremadamente largo para la obtención de resultados. [7]

Adicionalmente, la Guadua es un recurso abundante frente a otros recursos explotados forestalmente.

Esta condición también representa una enorme riqueza ambiental, porque la guadua es un importante fijador de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), hasta el punto que su madera no libera a la atmósfera el gas retenido después de ser transformada en elemento o ser usada en construcción, sino que éste se queda fijo en las obras realizadas con ellas.

Tal particularidad llama la atención de los países industrializados, según el Protocolo de Kyoto, debe disminuir la emisión de gases de efecto invernadero entre el año 2008 y el 2012.

Estos países ven en la especie una alternativa que podría ayudar a

resolver un inquietante problema global y que lo haría, tal vez, a costos más bajos que con otros procesos tecnológicos más complejos. [7]

Los múltiples productos obtenidos con la guadua, así como sus casi 1.000 aplicaciones en la vida cotidiana, es otra de sus grandes fortalezas.

La historia ha demostrado su excelente comportamiento estructural en grandes luces, su utilidad en sencillos cercos, en el campo industrial en preciosos productos como pisos o aglomerados, en el campo estético con magníficas piezas artesanales y utensilios domésticos y hasta como simple combustible. [8]

Sus propiedades mecánicas son en algunas cosas superiores al hierro. El bambú es de la familia de las gramíneas, no es una madera propiamente dicha, es madera con fibras y las fibras tienen cualidades superiores al hierro, puede ser tan resistente como él, pero mucho más flexible y su costo es infinitamente menor. [8]

A estas características se suma que la *Guadua angustifolia* posee propiedades estructurales sobresalientes, no sólo superan a la mayoría de las maderas, sino que además pueden ser comparadas con las del acero y algunas fibras de alta tecnología, así como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2. Valores característicos de constantes elásticas de la Guadua**

Parámetro	Autor	Inferior	Medio	Superior	Promedio
$E_z$ (MPa)	(Luna, et al 2014)	8720	8100	10560	9127
$E_{\theta}$ (MPa)	(Torres, et al 2007)	620	470	340	477
	(Luna, et al 2014)	250	480	830	520
$\nu_{r\theta}$	(García, et al 2012)	0.43	0.14	0.12	0.23
$\nu_{z\theta}$	(Ghavam i & Marincho 2005)	0.27	0.36	0.36	0.33
	(Luna, et al 2014)	0.36	0.36	0.33	0.35
$G_{z\theta}$ (MPa)	(García, et al 2012)	651	501	591	581
	(Luna, et al 2014)	470	360	410	413

Fuente: Bamboo in building structures

La tabla 2 muestra y explica que el bambú también evita la movilización de tierra y conserva efectivamente los suelos, de allí que su siembra resulte ideal en áreas propensas a deslizamientos, derrumbes y erosión, sin contar su gran capacidad para el almacenamiento de agua. [8].

*Guadua angustifolia* como un material transversalmente isótropo, según lo propuesto por Torres, donde su comportamiento está definido por cinco constantes elásticas independientes, las cuales son:

Módulos de Young en dirección axial ( $E_z$ ) y en dirección circunferencial ( $E_{\theta} = E_r$ ), coeficientes de Poisson radial-circunferencial ( $\nu_{r\theta}$ ) y axial-circunferencial ( $\nu_{z\theta}$ ), y un módulo cortante axial-circunferencial ( $G_{z\theta}$ ).



## 1.2 FUENTE DE INFORMACION INTERNA DEL PARAMO DE SUMAPAZ

Para el desarrollo de la propuesta de la implementación de las obras de bioingeniería, se recopiló información en base a la cartografía expuesta por parte de Ingeominas, para poder analizar y cotejar la existencia de los materiales presentes en el Páramo de Sumapaz. La zona de estudio se caracteriza por tener una formación Raposo, característica por rocas ciclópeas de las cuales se forman gigantescos escalones que muestran y forman las abruptas y declinadas pendientes de los taludes que conforman al Paramo de Sumapaz. La característica de estos materiales permite que la divisoria de aguas entre las vertientes del sistema fluvial bañe desde la parte más alta de la montaña todo el talud, repartiendo la cantidad de agua hacia los sedimentos típicos de forma heterogénea que cubre gran parte del Páramo.

Para poder garantizar con una mayor exactitud los materiales predominantes en la zona de estudio, se planificó dividir la exploración de campo en dos actividades, las cuales brindan de manera oportuna y eficaz los problemas latentes de la zona de estudio, a continuación se enumera las actividades desarrolladas en el Páramo de Sumapaz

1. Se realizó una inspección visual, la cual permitió verificar el estado de los deslizamientos, ocasionados por movimientos telúricos y presencia agentes externos como el "Agua", de esta visita se concluyó que la zona tiene un alto potencial de remoción en masa, debido al

alto grado de saturación del material, por el aumento en la precipitación de la zona. Por otro lado el material se encuentra suelto, es decir que su capacidad de compactación es baja, lo que impide que haya abrasión entre una partícula a otra.

2. Contiguo de realizar la exploración visual, se realizó una extracción de tres muestras inalteradas a través de personal capacitado e idóneo, estos materiales se sacaron de acuerdo como lo rige la NSR-10, para evitar que se alteren por cuestiones de transporte o clima. Adicional a ello se realizó un ensayo de campo denominado "Prueba de SPT", es un tipo de prueba de penetración dinámica empleada para ensayar terrenos en los que se requiere realizar un reconocimiento geotécnico. Cabe mencionar que el terreno quedó de la misma manera como se encontraba al principio.

Terminada de realizar la exploración de campo, se llevaron las muestras al laboratorio GEOTECHNICAL SAS, el cual brinda sus servicios prestos y oportunos para poder caracterizar este material.

El proceso duró aproximadamente cinco (5) días hábiles en lo cual se pidió realizar pruebas tales como

- Humedad natural
- Límites de atterberg
- Granulometría
- Pesos unitarios

Los resultados de la información se presentan en la tabla 3 se demuestra que la parte alta del talud de la zona de estudio, presenta materiales arena limosos, los cuales tienen un bajo contenido de humedad, no presenta plasticidad por lo que la abstracción entre partículas es mínima teniendo un estado suelto, sin consistencia alguna, adicional a ello los valores de SPT no superan los 20 golpes, por lo que el material es baja resistencia.

**Tabla 3. Perfil estratigráfico 1**  
*Fuente propia*

PERFIL SONDEO 1	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 a 0.50 m	<b>Material de relleno</b>
0.50 a 2.80 m	<b>Arena limosa de grano fino color café con trazos de arena de grano medio</b> Este estrato presenta una humedad natural de 8.93%, no se presenta límite líquido, ni límite plástico, ni índice de plasticidad. Se clasifica como SM, según USC.
2.80 a 4.30 m	<b>Arena limosa de grano fino color café</b> Este estrato presenta una humedad natural de 10.11%, no se presenta límite líquido, ni límite plástico, ni índice de plasticidad. Se clasifica como SM, según USC.
4.30 a 6.00 m	<b>Arena limosa de grano fino color café con trazos de arena de grano medio y grueso</b> Este estrato presenta una humedad natural de 18.95%, no se presenta límite líquido, ni límite plástico, ni índice de plasticidad. Se clasifica como SM, según USC.

El sondeo No 2, que se representa en la tabla No 4, demuestra que la arena limosa es el material predominante en el talud, con una presencia alta de finos que ocasionan un ligero hinchamiento del material dado que solo ofrece una ligera resistencia al momento de la compresibilidad,

aunque se tiene un ángulo de fricción alto del material no significa que la firmeza sea la ideal, dado que el desprendimiento es ocasionado por una falla rotacional por movimientos constantes a razón de la falla presente en la zona de estudio, por lo que se debe remover este material para evitar susceptibles colaciones, además de ello la densidad del material es baja lo que indica que el material ha pasado por varios procesos degradativos que impiden consolidarse en el sitio.

**Tabla 4. Perfil estratigráfico 2**  
*Fuente propia*

PERFIL SONDEO 2	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 a 1.90 m	<b>Material de relleno</b>
1.90 a 4.20 m	<b>Arena limosa de grano fino color café con trazos de arena de grano medio</b> Este estrato presenta una humedad natural de 12.02%, no se presenta límite líquido, ni límite plástico, ni índice de plasticidad. Se clasifica como SM, según USC.
4.200 a 6.00 m	<b>Limo elástico de alta compresibilidad color café</b> Este estrato presenta una humedad natural de 42.29%, se presenta límite líquido de 58.53, un límite plástico de 40.98, un índice de plasticidad de 17.55. Se clasifica como MH, según USC.

El sondeo 3, que se expresa en la tabla 5 que va hasta la profundidad de 8.00 m localizado en la pata del talud, es decir donde se está perdiendo la banca de vía, demostró que el material es netamente cohesivo con un alto contenido de humedad y valores de límites de atterberg en aumento, dado que expresa un flujo constante del agua por un mal sellamiento de las partículas del material por una excesiva porosidad.

**Tabla 5. Perfil estratigráfico 3**

*Fuente propia*

PERFIL SONDEO 3	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
0.00 a 0.40 m	<b>Material orgánico</b>
0.40 a 1.90 m	<b>Arcilla magra con arena de grano fino color café</b> Este estrato presenta una humedad natural de 14.73%, se presenta límite líquido de 35.54, un límite plástico de 17.2, un índice de plasticidad de 16.35. Se clasifica como CL, según USC.
1.90 a 3.40 m	<b>Arcilla magra con arena de grano fino color café</b> Este estrato presenta una humedad natural de 14.09%, se presenta límite líquido de 45.42, un límite plástico de 19.08, un índice de plasticidad de 26.34. Se clasifica como CL, según USC.
3.40 a 4.90 m	<b>Limo elástico de alta compresibilidad color gris</b> Este estrato presenta una humedad natural de 58.64%, se presenta límite líquido de 55.7, un límite plástico de 39.55, un índice de plasticidad de 16.14. Se clasifica como MH, según USC.
4.90 a 6.40 m	<b>Arcilla magra con arena de grano fino color gris</b> Este estrato presenta una humedad natural de 37.7%, se presenta límite líquido de 36.57, un límite plástico de 19.13, un índice de plasticidad de 17.44. Se clasifica como CL, según USC.
6.40 a 8.00 m	<b>Arcilla magra arenosa de grano fino color café con trazos de arena de grano medio</b> Este estrato presenta una humedad natural de 17.05%, se presenta límite líquido de 32.8, un límite plástico de 19.63, un índice de plasticidad de 13.17. Se clasifica como CL, según USC.

El material presenta un comportamiento de expansividad alto, impidiendo el no ser estable para la zona de estudio, es decir que la incorporación de obras superficiales poseen peligro inminente de estar en constante movimiento. El resultado de la cohesión fue baja y al no tener contacto con un material friccionante impide la abraccion de las partículas. En la imagen 1, las muestras extraídas presentan un color gris oscuro, lo que indica que han pasado por varios años geológicos.



*Imagen 1. Material extraído a través de la exploración de campo*

*Fuente Propia*

### 1.3 IMPLEMENTACION DE PROGRAMAS DE INGENIERIA “SLIDE 5.0”

Los resultados de la caracterización geotécnica determino que la presencia del material predominante areno limoso, es característico del Páramo de Sumapaz, aunque se tiene un material en la parte del talud netamente granular posibilita la generación e incorporación del material Guadua como metodología para la implementación de obras de bioingeniería.

El comportamiento del talud bajo condiciones naturales sin realizar ninguna obra de protección sirve en gran medida para analizar como varia el talud bajo diferentes escenarios, es por ello que se procede a realizar un modelación tridimensional; la cual permite inferior el resultado final del proceso de excavación del talud frente a condiciones de saturación parcial y total del material, adicional a ello someter el modelo a condiciones de sismo.

El programa que se emplea para esta modelación se llama “Slide 5.0”, ya

que ofrece la oportunidad de interpretar y analizar las fallas tanto rotaciones como translaciones del talud, ya que permite atacar de manera puntual el problema que se presenta en la zona de estudio.

Para poder interpretar los valores admisibles que indican que un talud de estudio es estable, se debe regir por la NSR.10, titulo H, en la tabla 6 se muestra dicha información.

**Tabla 6. Factores de seguridad básicos mínimos directos**

**Fuente: NSR – 10. Titulo H**

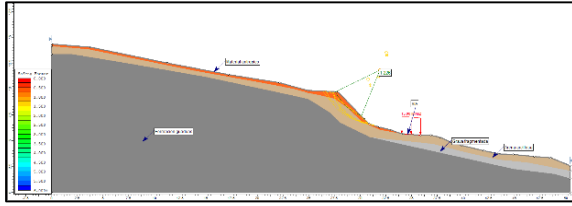
CONDICION	FSBM		FSBUM	
	DISEÑO	CONSTRUCCION	DISEÑO	CONSTRUCCION
Carga muerta + Carga viva normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga muerta + Carga viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga muerta + Carga vida Normal + Sismo de Diseño	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes - Condición estática y agua subterránea	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes - Condición Seudo - estática con agua subterránea normal y coeficiente de diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

Como se mencionó anteriormente el programa permite el análisis de fallas rotacionales que se encuentran presentes en el talud del Páramo de Sumapaz; el programa analiza los límites que establece el especialista para que a través de ellos se compruebe todo los escenarios probables que puedan alterar la inestabilidad del talud.

El programa funciona de manera analítica a través de modelos establecidos por Morh y Terzaghi, estos modelos fueron estipulados por muchos años y aplicados a los todos los casos prácticos de geotecnia. Se estableció un perfil promedio de la zona de estudio a partir de curvas de nivel que permiten identificar la pendiente presente en el Páramo de Sumapaz; conjunto a ello se establece las profundidades de los materiales encontrados a través de la exploración de campo realizada previamente para poder analizar y puntualizar el material que se encuentra más crítico a ser deslizado.

Todo el proceso de información de cotas, límites y profundidades se realizó por medio de Autocad 2017, cuando se ha establecido esta información se realiza un láyer denominado EXTÉRNAL con la información mencionada para poder ejecutar el modelo, se ingresa al programa Slide verificando que la información es congruente a lo inicial. Seguido a ello se comienza a definir los parámetros adicionales que requiere el programa como lo son:

- Cohesión
- Angulo de fricción
- Peso unitario
- Módulo de young
- Relación de Poisson
- Saturación del material
- Peso sumergido
- Relación de vacíos
- Porosidad
- Coeficiente de infiltración

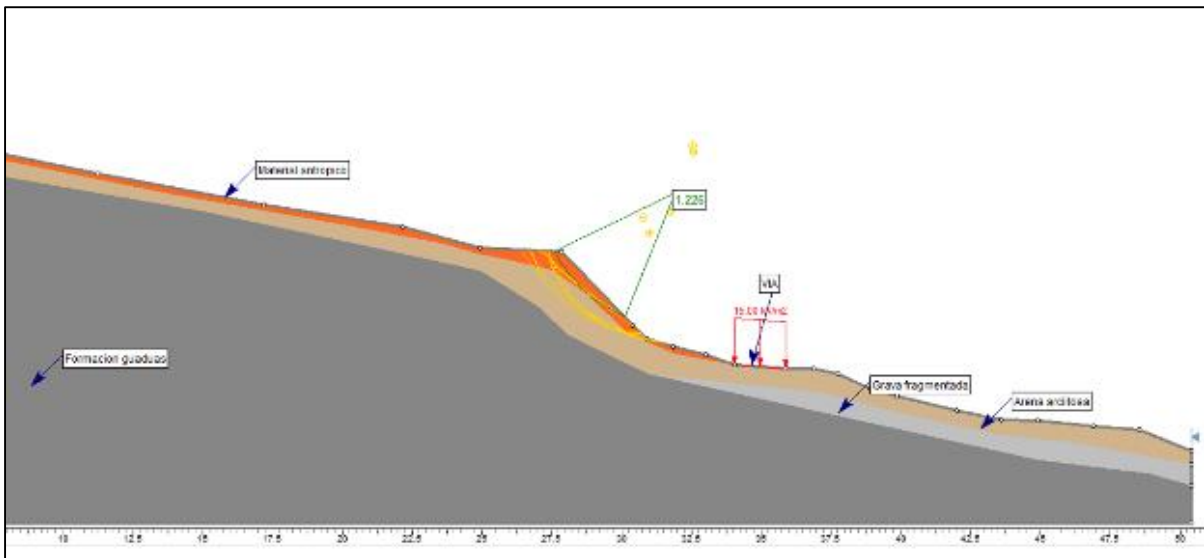


**Figura 1. Escenario actual**  
Fuente propia

Estos parámetros se evidencian en la figura No 1, lo cual permite tener una exactitud del 90% del comportamiento en su estado natural, y se constata esta información a través de una tabla de atributos que permite visualizar esta información, adicional a ello se debe realizar este mismo procedimiento con los tres materiales que se definieron en el modelo.

Se realizó la interpretación de modelo a partir de la metodología probabilística, la cual permite demostrar la probabilidad de falla que tiene el talud de erosionarse a partir de una interacción de 5000 fallas que recorren el programa por todo el Layer de External bajo los límites definidos previamente.

Para poder comprender mejor el modelo y observar el factor de seguridad que el programa evaluó y analizo para la zona de estudio, se demuestra en la figura No 2.



**Figura 2. Escenario actual – en detalle**  
Fuente propia

## 2. ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo permitió interpretar y analizar el comportamiento en estado natural del talud al estar sometido a tres consideraciones básicas en Geotecnia

1. Estado natural: cuando el talud se comporta en su estado pleno sin ninguna alteración que pueda afectar su estabilidad.
2. Estado de saturación: a los materiales presentes del modelo se saturan a un estado Parcial y total para poder comprobar cómo influye esto en el material si se llegará a presentar una época de alta precipitación en el Páramo de Sumapaz
3. Estado con sismo: como cada región en Colombia posee una característica sísmica específica, se tomó el valor suministrado por la NSR – 10, para este punto en particular.

El modelo identifico que el material en su estado natural presenta un comportamiento estable, ahora bien, con la presencia de un agente externo tanto saturación y sismo el comportamiento ya no es el mismo, debido a que como el material se encuentra demasiado suelto y no compactado, así como se demostró en la exploración de campo a través de los resultados de laboratorio el material es susceptible a la erosión generando desprendimiento de material con caídas de grandes bloques de material conjunto a deslizamiento en la zona.

Es por ello que se realiza la implementación de la Guadua como material principal y primordial para poder mitigar este problema.

Para trabajar bajo el mismo modelo se siguió los pasos mencionados anteriormente para poder ingresar toda la información al modelo, para lo cual se tomó puntos adicionales, esto significó que la pendiente propuesta tanto de corte como relleno no afectará la estabilidad del material a remover, luego que el hincado de la Guadua fuera el ideal para que la profundidad fuera lo suficientemente óptima para cortar la superficie de falla que está afectando la remoción de material.

El corte propuesto es de  $45^{\circ}$ , esta propuesta se basa en que la Guadua al ser sometida a la compresión de la fuerza actuante en el eje axial X, impide esfuerzos mayores, es decir impide que los empujes desestabilicen el material, además de ello reduce el volumen de la sección transversal acortándolo a la mitad, sometiendo el esfuerzo a una sola pieza que baja hasta la parta final de la Guadua y aumentando la máxima resistencia a la compresión del material.

El hincado de la Guadua se realizó en el modelo a una profundidad promedio de los 1.70 m, esta profundidad permite aumentar 75% la compresión paralela mejorando su comportamiento estructural, que se comporta igual que una viga simplemente apoyada, esta información se suministró en el programa para que con ello el modelo se entendiera de forma específica y clara el aporte que generaba la

reconformación del talud a través de la metodología de la Guadua.

Cuando se ingresa esta información en el modelo se debe definir claro y pertinente el tipo de soporte que se va a ingresar de tal manera que el programa asimile y comprenda la información específica y desarrolle la actividad de mitigar y cortar la envolvente de falla, dada esta consideración se tuvo que la excavación será de 3.00 m, que será lo suficientemente asertivo para poder llegar al material competente de la formación definida en el artículo, esta formación ofrece las ventajas de resistencia y tensión que requiere estas pantallas.

El material excavado y retirado se colocará de manera particular en la parte donde se ha perdido la banca para que sirva de soporte para contener el material que se ha venido colapsando por la erosión.

Se presenta el modelo final de la propuesta del material en Guadua en la Figura 3, donde se caracterizó por tener especial cuidado en correr las superficies de fallas a través de los límites definidos, y se estableció que la implementación de Guadua sirvió como alternativa de mitigación en la zona de estudio, permitiendo resaltar tres puntos importante para su implementación.

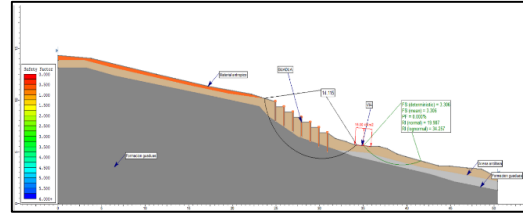


Figura 3. Escenario con obras  
Fuente propia

1. Aumentó los factores de seguridad en 62% en comparación con su estado actual, un 45% en su condición de saturación dado que como este tipo de material evacua las agua de infiltración del material impidiendo que este contenga un exceso de humedad que ocasione una baja compactación, y por último un 38% con el sismo dado que como el material de Guadua funciona de manera óptima a la compresión, es capaz de asimilar un movimiento telúrico en las mejores condiciones.
2. Su bajo costo permite generar una buena implementación capaz de soportar y reconformar los taludes desde su pata a la parte del alta, impidiendo más pérdida de la banca de vía e impedir más deslizamientos en la zona.
3. La amigabilidad con el ambiente, permitiendo que la naturaleza interactúa con la obra sin llegar a perjudicar el ecosistema del Páramo de Sumapaz.

Por último y no ser lo más importante la Guadua se le debe realizar un mantenimiento preventivo y correctivo, en el sentido enfático de ser precavidos de evitar posibles desarmes de las pantallas por motivos de aparición de plagas y un torrencial aumento en el nivel freático que ocasione un desprendimiento de la Guadua, se realiza la salvedad que la Guadua como material de construcción es bueno bajo una lineamiento y seguimiento de mantenimiento de control. La implementación de esta metodología se puede aplicar a lo largo del todo el Páramo dado que la construcción de estas pantallas vivas permiten la circulación y establecimiento de las especies que se encuentran en el sector, de ser así, se deberá colocar mínimo un 15 pantallas espaciadas cada 1.20 m una a la otra para que la interacción sea lo mínimo, esta conformación de pantallas debe contemplar cinco Guaduas de forma horizontal por tres manera vertical separadas cada metro e hincadas 1.70 m.

De colocar las pantallas de manera adecuada se estará incursionando en nuevas tecnologías verdes que permiten tener una mejor visión sobre la construcción, adicional a ello se brinda alternativas de poder controlar un deslizamiento no solo bajo los mismos materiales robustos de siempre sino en tecnologías útiles y reutilizables.

Ahora bien con esta metodología se disminuyen los costos en un 45% en base a la inversión final, según lo dice el manual de construcción de tecnologías verdes a base de nuevos materiales para Colombia, en donde expresa que la los costos de un proyecto para finalizar no se compara con la realización del mantenimiento preventivo por lo que optar por este nuevo material ya no se piensa y se ve como algo utópico.

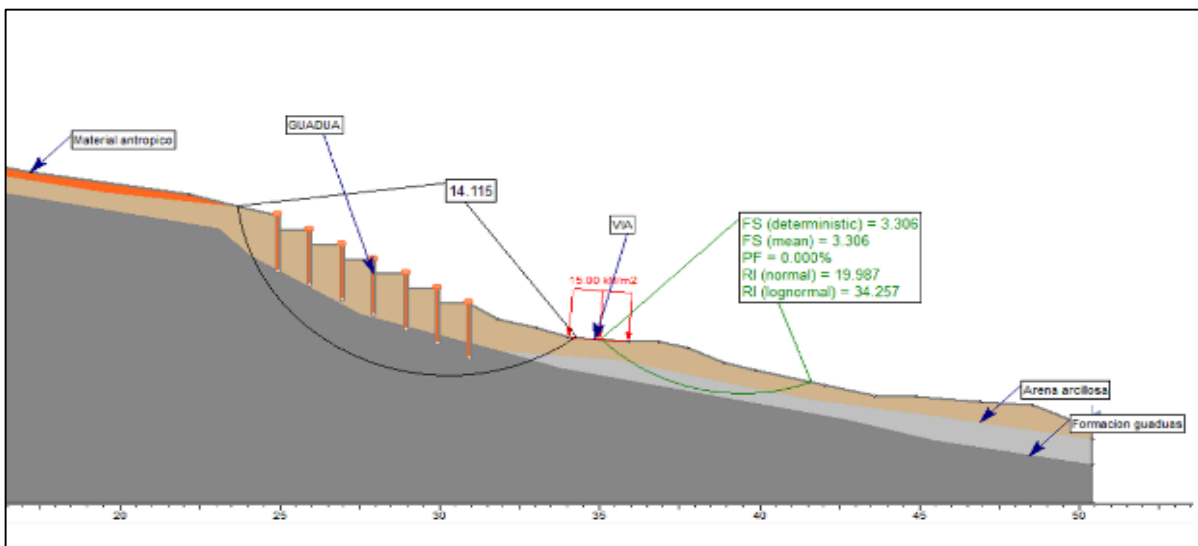


Figura 4. Escenario con obras  
Fuente propia



Se plantea en la figura No 4, en detalle cómo quedaría la intervención del talud bajo la propuesta de las pantallas vivas en los Taludes del Páramo de Sumapaz.

Y en la Figura 5, se muestra un corte en perfil de la implementación de las pantallas vivas con material de Guadua.

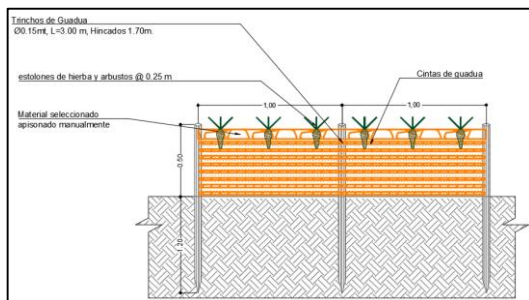


Figura 5. Pantallas vivas en Perfil  
Fuente propia

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se piensa que la mejor alternativa para poder estabilizar un talud es colocar concreto en cualquiera de las formas posibles, ya sea como una lechada con algunos pernos de anclaje o simplemente un muro de contención hacia la parte baja, pero en desarrollo a ello no se piensa en las complicaciones que tiene generar las posibles alternativas de estabilizar, generando un peso mayor al talud llevándolo a su estado máximo de soporte.

Como resultado de la investigación y de la exploración de campo, es posible concluir que el Páramo de Sumapaz está viviendo una situación tensa y algo compleja con los constantes deslizamientos por ocurrencias del desprendimiento de material a razón de la poca compactación del suelo y el

cesante flujo de agua ocasionado por las altas precipitaciones de lluvias en el sector.

El talud de estudio fue caracterizado a través de una exploración de campo, y arrojó que hay existencia de un material granular con una pequeña porción cohesiva, denominado a través de su granulometría como Arena – limosa, este material presenta un índice de humedad media baja, con un porcentaje de finos superior al 35%, con un índice bajo de plasticidad y con un ángulo de fricción de los 26°; este valor es representativo desde el punto de vista de geotecnia dado que la atracción de este material es ideal para poder soportar la existencia de otro material para mejorar su desempeño.

La metodología de reconfiguración de taludes a través del material Guadua, para estas zonas en particular para casos donde el medio ambiente es de vital importancia, son de gran ayuda dado que aporta ese refuerzo mecánico – estructural que permite y es capaz de a través de pantallas basadas en el material Guadua poder estabilizar el talud desde su parte inferior a la parte más alta.

Desde ese punto de vista y de acuerdo a toda esta información se propuso para el talud de estudio la implementación de las pantallas desde siete metros desde el borde de la banca de la vía hacia la parte más alta del talud, estas pantallas propuestas se probaron a través del programa de ingeniería denominado Slide, en donde con este programa se verificó que la obra propuesta al estar sometida a un equilibrio libre y dinámico cumpliera en todos los

escenarios posibles (estado natural, saturación de material y sismo), estos modelos pasaron y cumplieron con los factores de seguridad dados por la NSR -10.

La implementación de las pantallas en Guadua brinda una nueva alternativa que aporta desempeño, eficiencia y sobretodo es amigable con el medio ambiente, dado que son pantallas vivas que después de realizar la excavación tanto de corte como relleno, queda como si la zona no hubiera sido afectada, porque permite la capacidad de resiliencia del suelo, adicional a esto se pretende que para este sitio en particular se plantea especies nativas de la zona para que la capacidad de recuperación sea mucho más rápida.

## REFERENCIAS

[1] Agnew. W, (1991). Erosion control product selection. Geotechnical fabric repor, pagina 24 a 27.

[2] Coopion N, Stiles R, Editors R.PC. Morgan y RJ Rickson. E y FN Spon (1999). Ecological principles for vegetation establishment and maintenance, páginas 59 a 93.

[3] Suarez J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas.

[4] Moscoso Guerrero Francisco J. (2003). Principios y fundamentos para aplicación de bioingeniería de suelos en taludes de corte.

[5] Alvaro Soldano (2008). Teledeteccion aplicada a la reducción del riesgo por inundaciones.

[6] Agudelo, B y Toro (1994). Evaluación del desarrollo de los

bosques de guadua angustifolia en la zona de la jurisdicción de la CVC, bajo diferentes condiciones de sitio, con fines de reforestación. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal (Tesis de grado).

[7] Flórez Yepes G (2010). Comportamiento estructural de los guaduales ubicados en la parte baja de la cuenca de rio Chinchina (Caldas) ante el manejo silvicultural.

[8] Suarez Díaz, Jaime (2001). Control de erosión en zonas tropicales.

[9] Wu. TH (1999). Slope stabilization and erosion control, a bioengineering approach, Cambridge Inglaterra, pagina 222 a 224.

[10] Estudio de oferta hídrica Corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR) (2010).

[11] Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes, Titulo H. Estudio geotécnicos (2010), pagina 13.

[12] Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes, Titulo A. Estudio geotécnicos (2010), pagina 163.

[13] Caballero, J. H. (2011). Las avenidas torrenciales. Ambiente y Gestión, 45-50.

[14] Flórez, M. A. (1994). Manejo de programas de prevención y mitigación relacionados al riesgo por deslizamientos, inundaciones y movimientos sísmicos en la ciudad de Medellín. Conferencia Interamericana sobre reducción de los Desastres Naturales. Cartagena de Indias:

Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de Colombia.

[14] Kerguelen, A. (2009). Análisis probabilístico de estabilidad de taludes. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería. Bogotá

[16] Macari, E. J. (2001). Evaluación de riesgos de derrumbes causados por las lluvias torrenciales. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, 10.

[17] Corantioquia. (2014). Informe Técnico No. 130AS-1401-12841. Medellín.