

MODELACIÓN FÍSICA EN CENTRÍFUGA PARA DETERMINAR EL EFECTO DE RAÍCES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES

H. DOMÍNGUEZ & B. CAICEDO *

Recibido: 21 de Febrero de 2013
Aprobado: 17 de Mayo de 2013

H. DOMÍNGUEZ **

Resumen

Los métodos de remediación para la estabilización de taludes requiere el estudio detallado de las características del suelo, geometría del talud, condiciones ambientales y la influencia de la vegetación. Buscando métodos que permita mantener estables laderas y taludes, y que no representen un impacto al medio ambiente, el empleo de la vegetación se puede considerar una opción ingenieril para evitar la erosión y aumentar la resistencia del suelo. En esta investigación se consideró un talud a escala modelado en una centrifuga geotécnica sometido a un campo de aceleraciones inerciales de 15 gravedades. El talud a escala se construyó en una caja metálica de 60 cm de largo, 50 cm de alto y 40 cm de ancho, manteniendo una geometría con un ángulo de 45° de inclinación. Se utilizó una mezcla de suelo compuesta por arena fina (70%), caolín (25%) y materia orgánica (5%), se realizaron dos modelos de talud, el primero sin vegetación y en el segundo modelo se sembraron semillas de *Brachiaria Decumbens* con el fin de analizar el aporte de las raíces a la resistencia del suelo. Los resultados obtenidos en esta investigación, se determinó que las raíces aumentan la resistencia del suelo y aumentan la estabilidad de los taludes.

1. INTRODUCCIÓN

18

En este estudio se realizaron dos modelos a escala de un talud con un sistema de refuerzo mediante raíces de vegetación natural (*brachiaria decumbens*), con el fin de determinar el aporte de las raíces de las plantas como sistema de refuerzo en la estabilidad de los taludes, analizando las condiciones del suelo, nivel freático, geometría del talud y características de las raíces y así poder establecer criterios relacionados con el uso de la vegetación en la estabilidad de taludes.

Para la implementación de los modelos físicos en centrifuga se definieron los parámetros del talud, las características del suelo y las características de las raíces. Para el caso de los parámetros del talud se empleó una pendiente de 45°, se realizaron ensayos de tensión en raíces para determinar la resistencia de estas, y se realizaron ensayos de corte directo en suelos sin raíces y con raíces para obtener los parámetros del suelo.

1.1 Procedimiento empleado

Teniendo en cuenta las condiciones del suelo, geometría y caracterización de las raíces se realizaron el siguiente procedimiento:

- Identificación del tipo de suelo a utilizar en el modelo, estableciendo iguales características para todos los ensayos generando repetibilidad tanto para la clasificación como para la medición de la resistencia al corte. Para tal caso se tomó una mezcla de suelo remoldeado con una relación de arena fina de río (75%), caolín (20%) y materia orgánica (5%), con dicha muestra se obtuvieron los parámetros del suelo (cohesión y ángulo de fricción).
- Se emplearon raíces naturales de *brachiaria decumbens* sembradas mediante semillas sobre el modelo del talud, con una edad de las plantas a 50 días.

* Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Medio Ambiente. Carrera 1 No 18A-10, Bogotá D.C., Colombia. h.dominguez34@uniandes.edu.co; bcaicedo@uniandes.edu.co

** Centro de Educación Militar. Escuela de las Armas y Servicios. Bogotá D.C., Colombia. hernandodominguez@ingenierosmilitares.edu.co

- Se realizó el montaje de dos modelos físicos, el primero sin vegetación y el segundo con vegetación (*brachiaria decumbens*), teniendo en cuenta los parámetros del talud especificados anteriormente.
- Se controlaron las condiciones externas en los modelos físicos, tales como la temperatura, humedad, iluminación y la manipulación del modelo.
- Se realizaron dos vuelos en centrifuga geotécnica sometidos a un campo de aceleraciones inerciales de 15 gravedades: un talud sin refuerzo de raíces y un segundo talud con refuerzo de raíces.
- Mediante la aplicación del software SLIDE, se realizó el análisis del comportamiento del talud teniendo en cuenta los parámetros del suelo y los parámetros del talud.
- Se analizaron los resultados respecto al mecanismo de falla, resistencia al corte y factor de seguridad.

1.2 Influencia de la vegetación en la estabilidad de taludes

Los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daño en las propiedades por valor de decenas de billones de dólares cada año.¹ En los análisis de los deslizamientos se tiene en cuenta los parámetros geotécnicos determinados por el estudio del suelo y representados en la resistencia al corte del suelo (que representa la modelación física del fenómeno de deslizamiento), el ángulo de fricción y su cohesión, los cuales determinan el factor de seguridad al deslizamiento de una determinada superficie dentro del terreno.² La estabilidad de un talud está determinada por factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud), factores hidrogeológicos (presencia

de agua) y factores geotécnicos (resistencia y deformabilidad).³ La mayor parte de las fallas se producen por los efectos del agua en el terreno, como la generación de presiones intersticiales o los arrastres y erosión superficial o interna, de los materiales que forman el talud. En general, se puede decir que el agua es el mayor enemigo de la estabilidad de taludes (además de las acciones antrópicas, cuando se realizan excavaciones inadecuadas sin criterios geotécnicos).⁴ La estabilización de taludes por el uso combinado de vegetación y elementos estructurales adicionales trabajando de una manera conjunta e integrada, se le conoce como estabilización biotecnológica de taludes.

Este concepto de estabilización comprende parámetros ambientales muy importantes y su efectividad ha sido extraordinaria.⁵ Según Suarez Díaz, la vegetación cumple dos funciones principales: determinar el contenido de agua en la superficie y dar consistencia al suelo por el entramado mecánico de sus raíces, para tal caso representa un factor importante para la estabilidad de las laderas y taludes.⁶ Gray observa que las raíces aumentan la resistencia al corte por incremento de la cohesión aparente del suelo, reportando incrementos de resistencia hasta de 3 a 4 veces.⁷ Yagi, Yatabe, Hassandi, & Enoki, encontraron en pruebas de laboratorio que no existe prácticamente ninguna variación en el ángulo de fricción y la cohesión por la presencia de raíces o el aumento del porcentaje volumétrico de raíces en el suelo.⁸

Davies, Bowman, & White, mediante una modelación física en centrífuga permitió conocer los mecanismos de falla para prevenir riesgos desde el punto de vista geotécnico (deslizamiento de taludes, fallas superficiales por sismo y taludes inestables debido a cambios de clima).⁹ Itoh, Timpong, Suemasa, & Toyosawa, analizaron el mecanismo de falla de un talud mediante modelos físicos en centrífuga durante las obras de corte.¹⁰ Dicho modelo permitió medir los mo-

¹ Brabb, E. E., & Hrrrod, B. L. "Landslides: extent and economic significance". 28 th International Geological Congress: (p.385), Symposium on landslides. Rotterdam, Netherlands: A.A. Balkema. 1989.

² Suarez Díaz, J. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Publicaciones UIS. 1998

³ González, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson. 2002.

⁴ Ibid.

⁵ Gray, D. H. Reinforcement and stabilisation of soil by vegetation. ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, GT6. 1974. pp. 695-699.

⁶ Suarez Díaz, J. Op. Cit.

⁷ Gray, D. H. Op. Cit.

⁸ Yagi, N., Yatabe, R., Hassandi, A., & Enoki, M. The effects of root networks on slope stability. International Conference on Landslides and Slope Stability (pp. 387-392). Malaysia: Kuala Lumpur. 1994.

⁹ Davies, M. C., Bowman, E. T., & White, D. J. Physical modelling of natural hazards. International Conferences on Physical Modelling in Geotechnics (pp. 3-22). Zurich, Switzerland: ETH. 2010.

¹⁰ Itoh, K., Timpong, S., Suemasa, N., & Toyosawa, Y. Physical modelling of slope failure during slope cutting work. International Conferences on Physical Modelling in geotechnics (pp. 1119-1124). Zurich, Switzerland: ETH. 2010.

vimientos horizontales y verticales de un talud durante el proceso de excavación del mismo, lo que permite predecir la falla del talud y los movimientos típicos con el fin de evitar accidentes en el futuro. Bransby, Sonnerberg, Hallett, Bengough, & Davies, realizan una serie de pruebas sobre un modelo físico de centrífuga para investigar la estabilización mecánica de un talud por medio de las raíces de las plantas. En este estudio se obtuvieron resultados que mejoran la capacidad del talud en un rango del 5% al 25%, valor relativamente bajo como opción de estabilización.¹¹

2. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO EMPLEADO

El tipo de suelo empleado para para esta investigación se consideró una mezcla del 75 % de arena fina de peña, 20 % de caolín y 5 % de materia orgánica, buscando condiciones semejantes a suelos naturales que permitan la adaptación de vegetación. Teniendo en cuenta esta mezcla de suelo se determinaron las características y los parámetros del suelo según la Tabla 1. Para tal caso la mezcla de suelo se clasifico como una Arena Limosa (SM).

Tabla 1 Características del Suelo

Variable	Valor
Limite Liquido (%)	23
Limite Plástico (%)	16
Índice de Plasticidad (%)	07
Densidad Seca (kN/m ³)	13,27
Humedad Óptima (%)	18,30
Angulo de Fricción CD - Ensayo de Corte Directo (°).Suelo sin Raíces	33
Angulo de Fricción CD – Ensayo de Corte Directo (°).Suelo con Raíces	36
Cohesión suelo sin raíces (kPa)	3,3
Cohesión suelo con raíces (kPa)	7,6

20

Para obtener la relación entre la humedad y la masa unitaria del suelo compactado se realizó el Ensayo Normal de Compactación según I.N.V.E.-141-07 (ASTM D 698), en un molde de un tamaño de 4" (101,6 mm), con un martillo de 5.5 lb (24,4 N) que cae desde una altura de 12" (305 mm), en 3 capas de 25 golpes para obtener una energía de compactación de 12.400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³). Se empleó el Método A. (Figura 1).



Figura 1. Método Empleado para Ensayo de Compactación

¹¹ Bransby, M. F., Sonnerberg, R., Hallett, P. D., Bengough, A. G., & Davies, M. C. Centrifuge modelling of soil slopes reinforced with vegetation. Canadian Geotechnical Journal, 1415-1430. 2010.

Para el caso del ensayo de corte directo de un suelo con raíces, se realizó un montaje de un suelo con las condiciones empleadas para el estudio, colocando una capa de materia orgánica de 1 cm, sembrando sobre este modelo semillas de *Brachiaria Decumbens* (Figura 2). Estas plántulas de *Brachiaria* se tomaron para el ensayo a una edad de 45 días de crecimiento. Para el ensayo se tomaron esfuerzos de 100, 200 y 300 kPa con una velocidad de carga de 0,005 mm/min



Figura 2 Muestra de Suelo con Raíces para el Ensayo de Corte Directo

3. CARACTERIZACIÓN DE LAS RAÍCES DE BRACHIARIA DECUMBENS

3.1 Descripción *Brachiaria Decumbens*

La *Brachiaria Decumbens* es una planta herbácea, perenne, semierecta apostrada de 30 a 100 centímetros de altura. Las raíces son fuertes y duras, con presencia de pequeños rizomas (Figura 3). Según Anon (1986) la especie *Brachiaria decumbens* es originaria de África Ecuatorial y crece de forma natural en sabanas abiertas o con presencia de arbustivas. Esta gramínea se puede desarrollar en suelos fértiles, ácidos ($\text{pH} \sim 4,2$), así como en los que son calcáreos y pedregosos con $\text{pH} \sim 8,5$. También se establece en clima moderadamente húmedo, pero no soporta inundaciones prolongadas.

Esta especie se caracteriza por ser muy agresiva en pastoreo. Se adapta a distintas condiciones agroecológicas, como puede ser en regiones con alturas desde el nivel del mar hasta 2.200 metros sobre el nivel del mar y a la sequía, lo que le permite establecerse en regiones tropicales donde predominen períodos secos de 4 a 5 meses. Tolerancia a altas precipitaciones, el pastoreo intensivo y los suelos ácidos y pobres.¹²



Figura 3 *Brachiaria Decumbens*

¹²Olivera, Y. Evaluación y selección inicial de accesiones de *Brachiaria* spp para suelos ácidos. Cuba: Tesis de Grado Master. 2004.

Según Martínez (1984), uno de los problemas que afectan de modo importante los suelos de las zonas Andinas del país, están íntimamente relacionadas con la erosión de los suelos. Ante estos efectos, se hace necesario optar por medidas correctivas, que conduzcan a minimizar los graves impactos ocasionados por dichos procesos.

De acuerdo a lo anterior su trabajo se desarrolló con el fin de recuperar los suelos en áreas del piedemonte de la cordillera central en el departamento del Valle del Cauca, en el municipio de Buga, corregimiento de Presidente a 1150 m.s.n.m. De acuerdo a los resultados presentados obtuvieron una recuperación considerable del suelo mediante el uso de brachiaria decumbens y brachiaria humidicola ya que esta tenía mayor cobertura vegetal que otras especies de árboles empleadas.

3.2 Desarrollo de Ensayos de Tensión Axial en Raíces de Brachiaria Decumbens

Para la selección del tipo de vegetación y raíces a emplear en el ensayo, se realizaron ensayos de resistencia de raíces donde se analizaron dos especies de vegetación, la Brachiaria Decumbens y el Vetiver. Para este ensayo se tomaron raíces de 20 cm de longitud para la cual se empleó una máquina Universal INSTRON teniendo en cuenta una velocidad constante de 1 mm/min y distancia libre de la muestra para el ensayo de 100 mm.

Para el caso de las raíces de VETIVER se tomaron 6 muestras a una edad de 240 días y para el caso de la Brachiaria Decumbens se tomaron 5 muestras a una edad de 200 días. Los datos del ensayo se presentan en la Tabla 2.

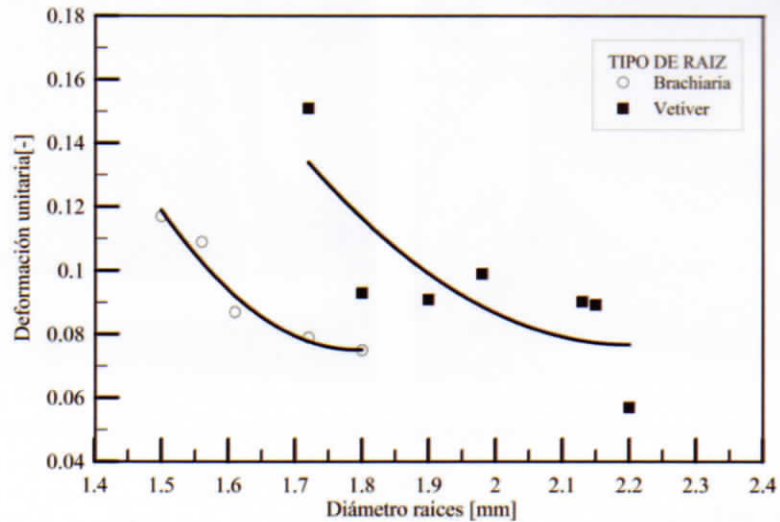
Tabla 2. Resultados de Diámetro y Deformación en Muestras de Raíces de Vetiver y Brachiaria Decumbens

Muestra Raíz	VETIVER		BRACHIARIA DECUMBENS	
	Diámetro (mm)	Deformación por Tracción (mm/mm)	Diámetro (mm)	Deformación por Tracción (mm/mm)
Probeta N°1	1,72	0,1510	1,50	0,1170
Probeta N°2	1,80	0,0930	1,56	0,1090
Probeta N°3	1,90	0,0910	1,61	0,0870
Probeta N°4	2,13	0,0903	1,72	0,0790
Probeta N°5	2,15	0,0893	1,80	0,0750
Probeta N°6	2,20	0,0570		

En la Gráfica 1 se presenta un comparativo entre los resultados de la raíz de VETIVER y Brachiaria Decumbens para analizar su comportamiento a la deformación teniendo en cuenta el diámetro de la raíz.



Gráfica 1. Diámetro de Raíces vs Deformación Unitaria (Brachiaria y Vetiver)



4. MODELACIÓN EN CENTRIFUGA

4.1 Descripción Modelo del Talud a Escala

Para el montaje del talud se empleó una caja de 60 cm de largo, 50 cm de alto y 40 cm de ancho, la geometría del talud se realizó con una pendiente de 45o con una altura del modelo de 34 cm. Teniendo en cuenta que el modelo experimenta una aceleración centrípeta de 15 veces la gravedad de la tierra obedece a leyes de escala donde $N=15$ (Schofield 1980), según la siguiente ecuación, $h_p=Nh_m$ donde h_p : altura del prototipo y h_m : altura del modelo, tenemos que la altura del prototipo equivale a 5,1 metros. Igualmente se tuvo en cuenta un sistema para controlar los niveles de agua utilizando arena de río y geotextil (Figura 4).

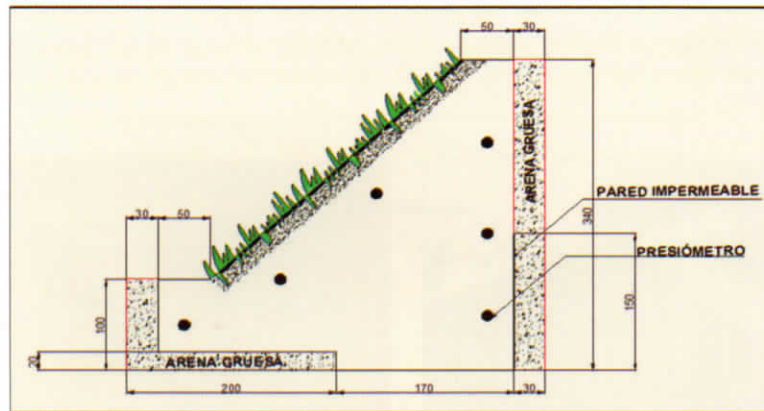


Figura 4 Modelo de Talud a Escala en Perfil

Para el montaje del talud se realizó la mezcla del material (arena, caolín, materia orgánica) con una humedad óptima de 13,27 % y una masa unitaria seca máxima de 1830,6 kg/m³ de acuerdo a los datos del ensayo de compactación, para ocupar un volumen de 0,04284 m³. La colocación del material se realizó mediante 9 capas de 5 centímetros, compactadas con un martillo de 5,5 lb, controlando el volumen de material dentro del molde (Figura 5).



Figura 5 Proceso de Montaje del Modelo de Talud

4.2 Instrumentación Empleada

Se utilizaron 5 deformímetros (LVDT Serie LZW1) instalados sobre la superficie del suelo, para determinar los desplazamientos o deformaciones en sentido horizontal y vertical, así mismo se instalaron 6 presiómetros dentro del suelo, distribuidos en toda la sección transversal del talud, con el fin de medir los cambios de presión al aumentar el nivel de saturación del suelo, estos presiómetros fueron construidos con unos sensores de presión Serie PX40.

Se instaló un equipo para el suministro de agua conformado por una cámara de agua, con la función de controlar la salida y la presión requerida, a partir de una válvula neumática independiente que se puede programar electrónicamente para la apertura y cerrado del flujo de agua, la entrada de agua al modelo del talud se distribuyó en tres puntos ubicados sobre los drenes de grava. Para la captura de imágenes y videos digital de los fenómenos ocurridos en el modelo durante el desarrollo del vuelo en centrifuga se empleó una cámara Sony de 14.1 megapíxeles, zoom óptico de 4x, ángulo del lente de 26 mm y pantalla de 2,7 LCD, la instrumentación se muestra en la Figura 6.

24



Figura 6 Instrumentación Modelo de Talud en la Centrifuga

4.3 Procedimiento Vuelo en Centrifuga Geotécnica Modelo del Talud

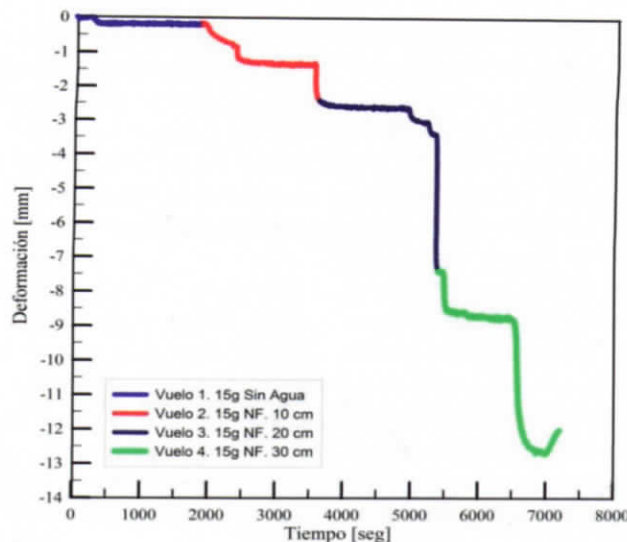
El desarrollo de los dos ensayos para el caso del talud sin vegetación y talud con vegetación se realizó teniendo en cuenta el siguiente procedimiento:

- Primer vuelo a 15 gravedades por un tiempo de 30 minutos sin adición de agua.
- Segundo vuelo a 15 gravedades por un tiempo de 30 minutos con adición de agua hasta una altura de 10 centímetros (100 mm) en dos fases. Fase 1: Ingreso de agua para saturación del suelo con la centrifuga sin movimiento hasta altura de 100 mm. Fase 2: Inicio vuelo a 15 g manteniendo constante altura de agua.
- Tercer vuelo a 15 gravedades por un tiempo de 30 minutos con adición de agua hasta una altura de 20 centímetros (200 mm) en dos fases. Fase 1: Ingreso de agua para saturación del suelo con la centrifuga sin movimiento hasta altura de 200 mm. Fase 2: Inicio vuelo a 15 g manteniendo constante altura de agua.
- Cuarto vuelo a 15 gravedades por un tiempo de 30 minutos con adición de agua hasta una altura de 30 centímetros (300 mm) en dos fases. Fase 1: Ingreso de agua para saturación del suelo con la centrifuga sin movimiento hasta altura de 300 mm. Fase 2: Inicio vuelo a 15 g manteniendo constante altura de agua. En esta fase el tiempo puede ser menor o mayor hasta que se presente la falla del talud.

4.4 Resultados Modelo Físico en Centrifuga Modelos de Talud

Para el análisis de los resultados del modelo físico en centrifuga del talud sin vegetación se graficaron los datos de Deformación (mm) – Tiempo (segundos) obtenidos durante el ensayo (Grafica 2), en esta grafica se puede verificar la deformación vertical del talud, la cual se incrementa cada vez que se incrementa el nivel de agua en cada una de las fases.

Gráfica 2 Relación Deformación (mm) vs. Tiempo (seg) Talud Sin Raíces.



De acuerdo a los resultados obtenidos, el talud sufre una deformación de 12,8 mm y se presenta una falla del talud acompañado de una grieta longitudinal sobre el talud lo que indica problemas de socavación en la base (Figura 7).

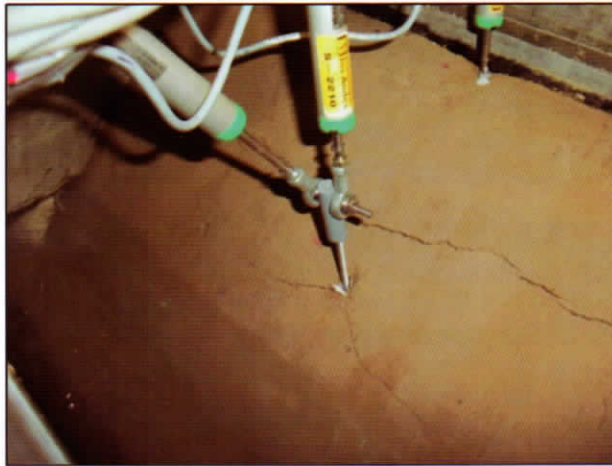
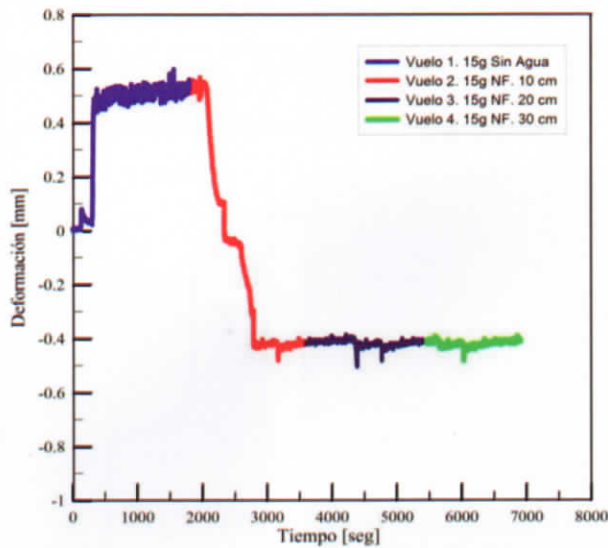


Figura 7 Condición Talud Sin Vegetación con Nivel de Agua a 30 cm

Para el caso del modelo físico en centrifuga del talud con vegetación se graficaron los datos de Deformación (mm) – Tiempo (segundos) obtenidos durante el ensayo (Grafica 3), en esta grafica se puede verificar la deformación vertical del talud, la cual se incrementa cada vez que se incrementa el nivel de agua en cada una de las fases.

Gráfica 4.2. Relación Deformación (mm) vs. Tiempo (seg) Talud Con Raíces.



De acuerdo a los resultados obtenidos, el talud sufre una deformación de 0,5 mm y no se presenta falla, el talud se mantiene estable (Figura 8).



Figura 8 Condición Talud Sin Vegetación con Nivel de Agua a 30 cm

5. CONCLUSIONES

La selección del tipo de suelo para modelos con vegetación debe cumplir condiciones cercanas a las naturales, que permita el desarrollo y supervivencia de cualquier tipo de especie vegetal que se analice; se recomienda emplear suelos naturales obtenidos de laderas con contenidos de materia orgánica, arena, limos o arcillas.

La selección del tipo de vegetación debe ser de acuerdo al modelo a escala que se utilice, además se deben seleccionar especies que se adapten fácilmente a las condiciones del lugar. Para el caso de trabajo en laboratorio se deben garantizar las condiciones de humedad y luz solar, y en lo posible estos modelos ubicarlos en ambientes naturales que permitan condiciones de lluvia, luz solar y humedad.

De acuerdo a los ensayos de corte directo realizado en un suelo sin vegetación y en un suelo con vegetación, el incremento de la cohesión es del 43,42% para la condición de un suelo con raíces.

Los parámetros obtenidos para la mezcla de suelo de 70% de arena fina, 25% de caolín y 5%

de materia orgánica demostraron un comportamiento estable según los resultados del ensayo de corte directo y en los ensayos de modelación en centrífuga. Se recomienda en este tipo de suelos emplear porcentajes de compactación menores al 90 % según el Ensayo Normal de Compactación, que permitan mayor permeabilidad y un suelo más suelto para el crecimiento de la vegetación y de las raíces.

Teniendo en cuenta la dificultad para controlar las condiciones ambientales en el caso de modelos con vegetación en modelos a escala, se recomienda analizar específicamente las características de las raíces de especies vegetales y posteriormente construirlas a escala y con las mismas condiciones de resistencia. Con estos modelos a escala de las raíces poder construir los modelos a escala del talud y simular el comportamiento para analizar el aporte a la resistencia en los suelos.

Dichos resultados son un aporte para los ingenieros militares que adelantan trabajos generales de ingenieros, como una alternativa para solucionar los problemas de estabilidad de talu-

des dentro de los proyectos del plan de consolidación casos particulares la rehabilitación de la carretera ruta de la Soberanía entre Saravena-Arauca y la Lejía Norte de Santander y el proyecto construcción y rehabilitación transversal de la Macarena entre San Juan de Arama-Meta y Colombia-Huila, proyectos actualmente asignado a los ingenieros militares.

BIBLIOGRAFÍA

Brabb, E. E., & Hrrrod, B. L. "Landslides: extent and economic significance". 28 th International Geological Congress: Symposium on landslides (p. 385). Rotterdam, Netherlands: A.A. Balkema. 1989.

Bransby, M. F., Sonnerberg, R., Hallett, P. D., Bengough, A. G., & Davies, M. C. Centrifuge modelling of soil slopes reinforced with vegetation. Canadian Geotechnical Journal , 1415-1430. 2010.

Davies, M. C., Bowman, E. T., & White, D. J. Physical modelling of natural hazards. International Conferences on Physical Modelling in Geotechnics (pp. 3-22). Zurich, Switzerland: ETH. 2010.

González, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. Ingeniería Geologica. Madrid: Pearson. 2002.

Gray, D. H. Reinforcement and stabilisation of soil by vegetation. ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, GT6 , pp. 695-699. 1974.

Itoh, K., Timpong, S., Suemasa, N., & Toyosawa, Y. Physical modelling of slope failure during slope cutting work. International Conferences on Physical Modelling in geotechnics (pp. 1119-1124). Zurich, Switzerland: ETH. 2010.

Olivera, Y. Evaluación y selección inicial de accesiones de *Brachiaria spp* para suelos ácidos. Cuba: Tesis de Grado Master. 2004.

Suarez Díaz, J. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Publicaciones UIS. 1998.

Yagi, N., Yatabe, R., Hassandi, A., & Enoki, M. The effects of root networks on slope stability. International Conference on Landslides and Slope Stability (pp. pp. 387-392). Malaysia: Kuala Lumpur. 1994.

