

# IMPLEMENTACIÓN DE FIBRAS NATURALES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES

Ingrid Rocio Hernández, Estudiante de Ingeniería Civil, Tecnólogo en Topografía<sup>1</sup>, Diana Perdomo, Estudiante de Ingeniería Civil<sup>2</sup>, Juan David Rincón, Estudiante de Ingeniería Civil<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad la Gran Colombia, Colombia, [ingridrocio.hernandez@ulagrancolombia.edu.co](mailto:ingridrocio.hernandez@ulagrancolombia.edu.co)

<sup>2</sup>Universidad la Gran Colombia, Colombia, [dianamirley.perdomo@ulagrancolombia.edu.co](mailto:dianamirley.perdomo@ulagrancolombia.edu.co)

<sup>3</sup>Universidad la Gran Colombia, Colombia, [juandavid.rincon@ulagrancolombia.edu.co](mailto:juandavid.rincon@ulagrancolombia.edu.co)

*Mentor:* Ing. Christian Camilo Gutierrez,

*Universidad La Gran Colombia, Colombia, christiancamilo.gutierrez@ugc.edu.co*

*Resumen- La implementación y el desarrollo de materiales ecológicos, nuevos procesos constructivos y conciencia ambiental de las últimas décadas, han generado cambios en la planeación, ejecución y control de proyectos de ingeniería. Para estar a la vanguardia de dichos cambios, buscando mejoras económicas y el cumplimiento de las normas técnicas de cada país o región, se contempla la implementación de fibras naturales de coco, yute y sisal.*

*Este artículo presenta una revisión literaria de las fibras nombradas anteriormente, relacionando sus principales propiedades físicas y mecánicas, analiza las ventajas y desventajas al momento de utilizarlas en la estabilización y recubrimiento de taludes. Dichas fibras por su capacidad de absorción de agua, regulan la escorrentía superficial e infiltración del suelo cuando hay precipitaciones elevadas o cuando se encuentran en zonas de suelos tropicales, además de esto mantienen un equilibrio en la temperatura del suelo y sirven de nutrientes para activar la revegetalización del talud. Finalmente se expone la importancia de estas técnicas bioingenieriles ya que, aunque el factor de seguridad de diseño en un talud no se modifique teóricamente, en la práctica si se produce un efecto estabilizante en la presión de poros de los estratos del suelo, impidiendo las fallas al cortante o el colapso.*

*Palabras Claves: estabilidad de taludes, fibra natural, deslizamiento, hidrosiembra.*

*Abstract-The implementation and development of ecological materials, new construction processes and environmental awareness of recent decades have led to changes in the planning, execution and control of engineering projects. To be at the forefront of these changes, seeking economic improvements and compliance with the technical standards of each country or region, the implementation of natural coconut fiber sisal, jute and contemplated.*

*This article presents a literature review of the fibers listed above, relating their main physical and mechanical properties, analyzes*

*the advantages and disadvantages when using them in slope stabilization and coating. Said fibers by its ability to absorb water, surface run-off and regulating soil infiltration when high rainfall or when in areas of tropical soils, besides this are balanced in the soil temperature and serve as nutrients to activate revegetation of the slope. Finally, the importance of these techniques bioingenieriles exposed because, although the design safety factor in a slope does not change theoretically, in practice if a stabilizing effect occurs in the pore pressure of the soil strata, preventing failures Shear or collapse.*

*Key Words: slope stability, natural fiber, sliding, hydroseeding.*

## I. INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo en distintos proyectos de ingeniería se presenta la necesidad de estabilizar superficies inclinadas de suelo o roca (talud), con el fin de salvaguardar vidas humanas, disminuir la vulnerabilidad ante la ocurrencia de eventos sísmicos y garantizar la durabilidad de los elementos de infraestructura diseñados.

La preocupación y conciencia social sobre el medio ambiente que se ha despertado en el mundo entero, durante las últimas décadas, ha generado cuestionamientos en los métodos constructivos tradicionales, en este sentido se ha dado importancia a la bioingeniería y a los métodos biotecnológicos para la revegetalización, tales como la hidrosiembra (Albadejo Montoro et al., 2000), haciendo referencia a técnicas para la estabilización de taludes por medio de fibras naturales que permiten el control de la erosión, comprendido como el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento; puede ser generada tanto por el agua como por el viento. [1]

Los métodos de estabilización de taludes generalmente, están dirigidos a reducir las fuerzas actuantes, a incrementar las fuerzas resistentes o a una combinación de los dos efectos. Es común que existan varios métodos para estabilizar dichas fuerzas, por lo general se excava el material de un sector apropiado del talud y se eliminan los estratos débiles o zonas potenciales de falla, se contruyen sistemas de drenaje para reducir las presiones hidrostáticas (canales superficiales para el control de escorrentía, subdrenajes de zanja, subdrenes horizontales de penetración, galerías o tuneles de subdrenaje, pozos profundos de subdrenaje), se contruyen estructuras de contención (muros en bloque de roca, muros en gaviones, muros de concreto, pilas, pilotes o tabla estacas, anclajes o pernos, pantallas ancladas) o se refuerza el suelo mediante anclajes (anclajes y pernos individuales, muros anclados, clavijos “Nails”, micropilotes). [2]

El procedimiento que se use en determinado caso, dependerá de limitaciones técnicas, que incluyen el tipo del suelo, la ubicación del proyecto, problemas, políticos, tradiciones culturales factores económicos, de los tiempos de construcción, limitaciones ambientales, entre otros.

La protección ideal de la superficie de un talud es el recubrimiento con vegetación. La utilización de fibras naturales de cáñamo, coco, lino, yute, palma de aceite y bambú, son obtenidas como residuo de plantas y frutas de la industria alimenticia y se caracterizan porque son biodegradables, sostenibles, renovables y económicas.

En este artículo, se presenta un estado del arte sobre los estudios realizados por diversos autores sobre el manejo de las fibras naturales de coco, sisal y yute en métodos de estabilidad y protección de taludes ante los efectos del intemperismo, enfocados a la revegetalización, a la bioingeniería y a la biotecnología.

## II. ANTECEDENTES EN EL CONTEXTO NACIONAL E INTERNACIONAL

Como se indica en el libro 'Slope Stability and Stabilization Methods'[3] por Lee W. Abramson, muchos taludes naturales que han sido estables durante décadas, súbitamente pueden fallar debido a cambios en la topografía, sismicidad, flujo de aguas subterráneas, pérdida de resistencia, cambios en el nivel de esfuerzos y meteorización.

Cuando los ingenieros franceses empezaron la construcción del Canal de Panamá en 1884, y esta tarea fue retomada por el Cuerpo Ingenieros del ejército americano en 1908, entre 1910 y 1964, se registraron 60 deslizamientos en los cortes a lo largo del canal y, aunque estos deslizamientos no se analizaron en las condiciones de mecánica de rocas, el trabajo por el Cuerpo Americano de Ingenieros (Lutton *et al*, 1979) muestra que estos deslizamientos eran predominantemente controlados por las discontinuidades estructurales del suelo. [4]

De lo anterior, en la primera conferencia internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones llevada a cabo en la Universidad de Harvard en junio de 1936 [5] y organizada por el profesor Casagrande, Karl Terzaghi menciona lo siguiente:

*'El descenso catastrófico de los taludes de los cortes más profundos del Canal de Panamá han emitido una advertencia de que nosotros estábamos sobrepasando los límites de nuestra habilidad de predecir las consecuencias de nuestras acciones.'*

A partir de ese momento el geólogo austriaco Josef Stini inicia el estudio y posterior enseñanza de las discontinuidades del suelo en la Universidad Técnica de Viena, despertando el interés de los geólogos e ingenieros de vías por el tema de la estabilidad de taludes. [6]

Es probable que la segunda mitad del siglo XX y el siglo XXI sean conocidos como la época de los productos sintéticos, es decir, de los plásticos, las fibras artificiales, los cauchos sintéticos, los materiales compuestos y los adhesivos sintéticos. En la industria de la construcción, la fibra de vidrio (o la fibra de carbono o aramida o la combinación de ambas para obtener una fibra híbrida) y el polímero de poliéster (o epoxi) se utilizan para formar un material compuesto fibroso; si las fibras de vidrio y la resina de poliéster se unen para formar un material compuesto, el resultado recibe el nombre de (plástico) poliéster reforzado con vidrio, PRFV, o, más usualmente, polímero reforzado con fibra (PRF). La historia de la utilización de polímeros y materiales compuestos para la construcción se inició durante la Segunda Guerra Mundial, cuando se produjo un rápido progreso con la fabricación de las primeras casetas para equipos de radares electrónico. [7].

En el año 2010 a nivel mundial se presentó un consumo aproximado de 250 millones de toneladas en productos de plástico y sus derivados, el sector de la construcción fue la segunda industria con mayor consumo de estos productos con un 21% (ver Figura 1.), utilizados principalmente en tuberías y ductos, como aislantes térmicos, paneles y laminas aligeradas, fibras, resinas, entre otros.

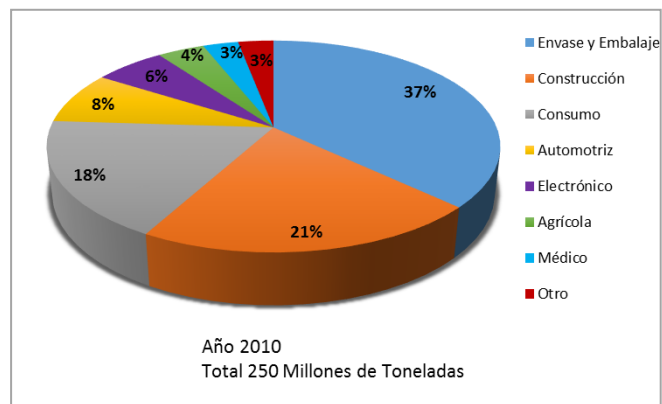


Figura 1. Consumos del plástico y sus derivados. [8]

Técnicamente para justificar el uso de un geotextil en determinada función, deben realizarse una serie de ensayos de laboratorio (relacionados en la tabla 1.) para que ayuden a predecir el comportamiento de las estructuras reales en las que se va a utilizar, cumpliendo siempre con las normas establecidas. En el caso de Colombia se implementan las normas INVIAS basadas en las normas dadas por la ASTM, como complemento a los ensayos de laboratorio en la búsqueda de una correcta utilización de los geotextiles [9].

TABLA 1.  
ENSAYOS QUE SE LE PRACTICAN A LOS GEOTEXTILES

ENSAYO NÚMERO	DESCRIPCIÓN	NORMA ASTM	NORMA INVIAS
1	Método para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (método grab)	ASTM D-4632	INV E - 901
2	Método para la determinación del índice de resistencia al punzonamiento de geotextiles, geomembranas y productos relacionados	ASTM D-4833	INV E - 902
3	Método para la determinación de la resistencia al rasgado trapezoidal de geotextiles	ASTM D-4533	INV E - 903
4	Método para la determinación de la resistencia al estallido de geotextiles (método del diafragma hidráulico - mullen burst)	ASTM D-3786	INV E - 904
5	Método para la determinación de la permeabilidad al agua de los geotextiles por medio de la permitividad	ASTM D-4491	INV E - 905
6	Método de ensayo estándar para determinar el espesor nominal de geotextiles y geomembranas	ASTM D-5199	INV E - 906
7	Método estándar para la determinación del tamaño de abertura aparente (taa) de un geotextil	ASTM D-4751	INV E - 907
8	Método de muestreo de geosintéticos para ensayos	ASTM D-4354 Y 4439	INV E - 908
9	Práctica para establecer la conformidad de especificaciones de geosintéticos	ASTM D- 4759 Y 4439	INV E - 909
10	Método de ensayo para medir el deterioro de geotextiles a la exposición de luz ultravioleta y agua, (aparato del tipo arco xenón)	ASTM D-4355	INV E - 910
11	Método estándar para determinar la retención de asfalto de geotextiles usados en repavimentaciones asfálticas	ASTM D-6140	INV E - 911
12	Método estándar para medir la masa por unidad de área de geotextiles	ASTM D-5261	INV E - 912
13	Método de ensayo estándar para determinar la resistencia al punzonamiento estática de geotextiles usando un pistón de prueba de 50 mm de diámetro	ASTM D-6241	INV E - 913
14	Método de ensayo estándar para determinar el coeficiente de fricción suelo-geosintético y geosintético - geosintético por el método de corte directo	ASTM D 5321 - 02	N.A
15	Método de ensayo para determinar la tasa de flujo y la transmisividad hidráulica de un geosintético utilizando una cabeza constante	ASTM D 4716 - 03	N.A
16	Medida del potencial de colmatación de un sistema suelo - geotextil por la variación del gradiente hidráulico	ASTM D 5101 - 90	N.A

Fuente: Manual Geosoft Pavco- Geosistemas Pavco. Normas de Ensayo y especificaciones de construcción

En la resolución 1083 del 04 de octubre de 1996[10], el ministerio de medio ambiente de la Republica 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 geoesférica, 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. Considerando que las fibras naturales presentan ventajas ecológicas como la biodegradabilidad o capacidad de sustancias de reintegrarse en los ciclos biológicos naturales del suelo y del agua; que aporta al suelo nutrientes mayores y menores; que ayuda al crecimiento de la vegetación y que actúa como material facilitador para germinación y el desarrollo vegetativo.

Más recientemente, Díaz Mendoza Claudia, plantea alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización [11], estableciendo que la recuperación de la cobertura vegetal en taludes con escaso material orgánico requiere del uso de productos que protejan el suelo fértil y aporten condiciones favorables a la implantación de nueva vegetación; en este sentido la revegetalización controla la erosión en cuencas al incrementar la infiltración y reducir la escorrentía. [12]

La vegetación ofrece protección física al suelo frente al impacto de la lluvia y la escorrentía, reduciendo la velocidad del agua al aumentar la resistencia hidráulica del terreno, por lo tanto, disminuye la capacidad erosiva del agua. Si la velocidad se ha reducido lo suficiente, se sedimenta una parte de los materiales arrastrados y a partir de este momento se empieza a regenerar la vegetación natural [13]. El crecimiento de cebadas, por ejemplo, reduce la escorrentía del 50 al 60% y las pérdidas de suelo por erosión del 60 al 80%. [14]

En el año 2012 la Facultad de Ingeniería de la Universidad Southern Queensland, Toowoomba-Australia, publicó una revisión literaria sobre el comportamiento mecánico y tribológico de materiales compuestos poliméricos a base de fibras naturales [15] como el cáñamo, lino, yute, palma de aceite y el bambú en distintas industrias. El autor centra su atención en las características de la superficie, fracción de volumen, propiedades físicas y la orientación de la fibra natural, ya que estas tienen una influencia significativa

sobre la mecánica y el comportamiento de los materiales compuestos, además analiza la adhesión interfacial de las fibras naturales, pues las propiedades mecánicas de los materiales poliméricos a base de fibras naturales estas dependen fuertemente de la interfaz de adherencia entre las fibras y la matriz del polímero.

En octubre de 2013, la Cámara Colombiana de la Infraestructura Seccional Antioquia, llevó a cabo el seminario: Nuevas Tecnologías para la estabilización de suelos y taludes [16]; que tuvo como principal objetivo, poner al alcance de profesionales del área técnica, funcionarios públicos, estudiantes y personas inmersas en la gestión de riesgos, ingeniería civil, geología, geotécnica y ramas afines, los conocimientos adquiridos en los últimos años en la prevención, mitigación control de movimientos en masa e inestabilidad de taludes, laderas y estabilización de suelos; buscando atenuar la brecha entre las experiencias de otros países y las nuevas tecnologías utilizadas en la materia.

En este seminario la empresa Colombiana *Compañía de Empaques*, en su ponencia: Control de erosión y refuerzos superficiales de taludes con fibras ecológicas, hace una presentación sobre el proceso de revegetalización con agrotexiles de Fique, una fibra nativa de los Andes, de la misma familia del Henequén (Sisal), en donde se evalúan aspectos como la climatología (radiación solar, precipitación, temperatura y viento), la topografía (altura del talud, altura sobre el nivel del mar, pendiente del talud y formas del relieve) y la composición del suelo (Textura y estructura del suelo, Nutrientes: Nivel de Fertilidad, PH, entre otros); aclarando que este tipo de técnicas para el control de erosión no previenen hundimientos, ni deslizamientos de suelos, ni movimientos en masa. Finalmente el autor establece que como regla general nunca debe plantarse una sola especie de vegetación, sino una sucesión de variedades (arbustos, hierbas y árboles) de tal forma que se recupere el sistema vegetativo original [17].

En la Universidad Normal de Beijing, se ha estudiado acerca de la eficacia de las coberturas de geotextil para la restauración de taludes en el suelo semiárido al norte de China [18]. Para dicho estudio los autores utilizaron tres tipos de Geotextiles: una estera natural de yute tejida, de 20 mm de espesor y 500 g/m<sup>2</sup>; una estera de poliéster, hecha a partir de poliéster sintético de tres capas con un espesor total de 15mm, una masa por unidad de área de 400g/m<sup>2</sup> y finalmente una red de poliéster de 2mm. Con el fin de estudiar la erosión y la escorrentía superficial en dichos suelos, teniendo en cuenta factores como la intensidad de lluvias, humedad, temperatura, altura del talud, pendiente del talud y concentración de sedimentos.

En dicho estudio se contemplaron dos escenarios (Experimento de laboratorio y Estudio de campo) en los que se controlaron los mismos factores para los tres tipos de geotextil. De esta forma se pudo concluir que la fibra de yute es más eficaz en la reducción de pérdida de agua por evaporación, mantiene la humedad y temperatura del suelo (lo que favorece el crecimiento de la vegetación), es más respetuosa con el medio ambiente, ya que sus componentes se degradan y se incorporan al suelo.

### III. UTILIZACIÓN DE FIBRAS NATURALES EN ESTABILIDAD DE TALUDES EN SUELOS TROPICALES.

Los suelos tropicales son originados por la meteorización en sitio de las formaciones rocosas por factores tales como el clima, (temperatura y humedad) (Suarez, 1998), los cuales generan una gran variedad de perfiles con propiedades ingenieriles particulares, dependiendo el grado de meteorización al cual ha sido sometido la roca. Las formaciones de suelos residuales se concentran en el sector norte de América del sur, Centroamérica, África, Australia, Oceanía y el sur de Asia.

Carrillo (1978) [19] enfatiza que en climas cálidos, húmedos y tropicales, el agua percolada a través de la roca tiene un fuerte poder disolvente, el cual permite una meteorización más rápida de sus minerales.

El resultado de esta meteorización es un perfil con materiales muy heterogéneo que van desde una roca sana, pasando por saprolitos, hasta el “suelo residual”. Como características de este tipo de suelos caben mencionar que: comúnmente se encuentran en estado húmedo no saturado, poseen zonas con alta permeabilidad, al ser suelos heterogéneos son difíciles de muestrear y ensayar. [20]

En términos generales la estabilidad de taludes en un medio tropical es particularmente complicada, debido a que la mayoría de los suelos son residuales, presentan un régimen hidrológico complejo, la humedad ambiental y las temperaturas son muy altas, la geología es compleja, la topografía normalmente es escarpada y los demás factores ambientales son generalmente, desfavorables para todo tipo de excavaciones. Camacaro, Cernavantes (2012) [21].

De lo anterior es primordial establecer medidas de prevención, mitigación y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo de estos taludes; en este sentido países tropicales como Colombia y Mexico han dejado a un lado el

uso convencional del concreto y el acero, en muros de contención, para dar paso a técnicas más amigables con el ambiente como es el uso de fibras naturales que pueden ser de sisal, paja o coco.

Para que estas fibras tengan una mayor resistencia química y a la corrosión se deben recubrir con materiales geosintéticos "textiles permeables utilizados en relación con el suelo, la fundación, roca, tierra o cualquier ingeniería geotécnica" Pavco (1992) [22]. Esta técnica ayuda a generar una protección al terreno ya que se adhiere al mismo e interceptan las zonas donde hay la presencia de agua, evitando y controlando la erosión o los movimientos de masa del suelo, este tipo de sistemas se pueden trabajar de la mano con canales para el manejo de aguas lluvias [23].

#### *A. La Importancia de las Raíces en la Estabilización de Taludes.*

Diversas investigaciones realizadas por algunos autores como Abe y Ziemer (1991) [24], Suarez (1998), Schmidt (2001) [25], han demostrado la importancia de las raíces de los árboles y la vegetación en general, para evitar los deslizamientos superficiales de taludes.

Las raíces tienen funciones específicas desde el punto de manejo geotécnico proporcionando anclajes, reforzando el suelo y ayudando a la absorción, conducción y acumulación de aguas para la disminución de humedad. Suarez (1998). Dependiendo de la especie vegetal, la edad y las propiedades del suelo las raíces desarrollan profundidades diferentes, estas raíces refuerzan la estructura del suelo y pueden actuar como anclajes en las discontinuidades.

Sidle (1985) [26] explica el efecto de las raíces sobre la resistencia del suelo en tres formas: 1. une los materiales de los suelos inestables, 2. forman una red densa entrelazada que forman una membrana lateral para reforzar la masa del suelo más superficial y 3. Las raíces actúan como pilas de refuerzo. Por otra parte Schiechl (1980) [27], expresa que la resistencia a la tensión de las raíces puede sobrepasar hasta el 30% de la del acero y se pueden extender varios metros debajo de la superficie del talud, teniendo la capacidad de recuperación y regeneración frente a daños físicos y tiene una gran ventaja que es la adaptación a condiciones desfavorables de topografía.

Según Tsukamoto y Kusakabe (1984) [28] los refuerzos de raíces se pueden clasificar en 4 tipos:

A. Taludes que poseen una capa muy delgada de suelo sobre roca masiva y sin defectos que permitan puntos de

anclaje para las raíces y una superficie de falla potencial entre el suelo y la roca.

B. Una capa delgada de suelo sobre una roca con fracturas o defectos que permiten la entrada y anclaje de las raíces

C. Varias capas de suelo y las raíces penetran normalmente las interfaces reforzando los contactos entre las diversas capas.

D. Taludes con una capa gruesa de suelo y raíces a profundidades superiores a las de las superficies potenciales de falla.

Leventhal y Mostyn (1987) [29] indican que las raíces de diámetro menor a 20 milímetros son las más importantes para la estabilidad de un talud comparadas con raíces de mayor diámetro.

La vegetación trae efectos positivos y se resume en el efecto del anclaje que genera el refuerzo del suelo y la densidad del sistema radicular que mejora la conservación de las partículas estabilizando la masa de suelo, provocando un aumento en la resistencia a la erosión. Dicho análisis se puede observar en el conjunto de la estabilidad de un talud, Suarez (1998).

#### *B. Las Fibras de Coco en La Estabilidad de Taludes*

Por 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, esta fibra presenta 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. [30]

Nadira Mathura (2012) [31] y Andréa Rodríguez Marques (2014) [32] realizaron estudios sobre las fibras de coco, se menciona que son extraídas a partir de la cascara exterior del coco, cada fibra es delgada, hueca y estrecha. El peso específico tiene un papel importante pues el valor estándar mínimo es de 1.5 N/m<sup>3</sup>, se considera que los valores menores a este rango no son buenos según el Ejército de los EE.UU en el campo del Cuerpo de Ingenieros (2002).

De lo anterior, estas fibras se utilizan con la combinación de materiales como gomas y resinas para que se equilibre el peso específico quedando su valor entre 2.16 N/m<sup>3</sup> y 2.68 N/m<sup>3</sup>.

Normalmente su resistencia es de 73 a 118 Mpa, estas pruebas se realizan remojando las fibras en agua con el fin de incrementar su resistencia respecto al estado seco de las mismas. En este estudio también se demostró que la resistencia y durabilidad son más altas en aguas dulces que en aguas saladas, mientras que en agua caliente aumenta la resistencia a flexión. En un periodo de 6 meses solo pierde un 8% de su fuerza, a los 12 meses un 20% y al año un 30%.

Un ejemplo del manejo de la biomanta se observa en la Fotografía 1. Estabilidad de talud con biomanta de fibra de coco en el proyecto Libramiento oriente de Chihuahua localizado en Chihuahua (México) cuya altura de corte del talud es superior a 70 metros y se combina con una malla, anclajes y cunetas de manejo de agua lluvias, se presenta un suelo rocoso y su nivel freático se encuentra por debajo de los 10 metros de profundidad.

Finalmente los resultados de investigaciones sobre esta clase de fibra, permiten conocer datos que son de gran importancia en la estabilidad de taludes, pues estos ayudan a aumentar la resistencia en el suelo, el impacto ambiental es bajo por su biodegradabilidad ayudando a que la fibra natural se descomponga y le aporte nutrientes al suelo en un corto tiempo, caso que no ocurre con los geomantos sintéticos.



Fotografía 1. Estabilidad De Talud Con Biomanta De Fibra De Coco En El Proyecto Libramiento Oriente De Chihuahua. [Fuente Propia]

### C. Las Fibras de Sisal y de Yute en La Estabilidad de Taludes

Otras investigaciones realizadas por Ahmed Belaadi (2014) [33] y Sayyed Mahdi Hejazi (2012) [34] tratan sobre las fibras de sisal y de yute que también se pueden utilizar en la estabilidad de taludes. La planta de donde proviene el sisal produce entre 200 y 250 hojas antes de la floración, y cada fibra se extrae en forma larga, la composición de cada hoja es de 4% de fibra, 1% de cutícula, 8% de materia seca y 87% de agua. Algunas de las propiedades mecánicas de las fibras de sisal son el módulo E que su valor aproximado es de 9.89 Gpa y una deformación a la rotura aproximada de 6.43%. La tracción de la fibra depende del diámetro, del módulo de Young y la resistencia a tracción; con estos datos se puede evaluar cuáles son sus comportamientos mecánicos por medio de las estadísticas de Weibull.

Los países pioneros en la implementación de la fibra sisal son Brasil, África e Indonesia y gracias a sus propiedades mecánicas son muy utilizadas en industrias como la Ingeniería Civil.

Por otra parte, en las fibras de yute se debe tener en cuenta la edad de la fibra, de qué planta se tomó la fibra, entre otras, pues estos factores pueden llegar a afectar la calidad de las mismas. Dicha fibra es gran absorbente de agua, tienen gran ductilidad y resistencia a la comprensión.

Prabakar y Siridihar (2002) [35] determinaron que estas fibras reducen la densidad en suelos secos, aumentan en 2.5 el valor de CBR en suelos llanos y son fabricadas para utilizarse en la parte de filtración y drenajes en la estabilización de taludes.

De las investigaciones anteriormente nombradas se puede concluir que tienen en cuenta las características de las fibras como el módulo de elasticidad, aspecto que ayuda a la resistencia de suelos cohesivos, se pueden utilizar en construcción de vías, protección de taludes y terraplenes, son manejables, a pesar de las condiciones climáticas en las que estén expuestas, son muy útiles y económicas, previenen grietas generadas por tracción y aumentan la conductividad hidráulica.

### D. La Hidrosiembra y su relación con las Fibras Naturales.

La hidrosiembra es un método constructivo que tiene como objetivo establecer una cubierta vegetal sobre terrenos de difícil acceso (generalmente grandes pendientes), donde no pueden ser utilizadas las técnicas convencionales de siembra.

Las hidrosiembradoras disponen de un cañón hidráulico que aumenta el rendimiento y la efectividad en el proceso de siembra de semillas que la convierte en la principal técnica

de la restauración medioambiental y junto a los geomantos de las fibras naturales logran una estabilidad en taludes.

Como se observa en la Fotografía 2. Vía La Ceja – Abejorral proyecto realizado por la Gobernación de Antioquia, se muestra del resultado de la hidrosiembra, cuyo proceso constructivo consiste en pasar proyectando a presión las semillas, los abonos y estabilizantes sobre la superficie del terreno, en la segunda pasada se encarga de asegurar unas condiciones favorables para una rápida germinación, con el fin de proteger, retener la humedad, y mantener el microclima favoreciendo la germinación de la semilla.

El Ingeniero Francisco Centeno [36] en el XVII Seminario Venezolano de Geotecnia nombra a la hidrosiembra como una de las nuevas tecnologías que se están implementando hoy en día, logrando en un corto plazo reactivar la cobertura vegetal, protegiendo el suelo de agentes del intemperismo como lluvias y vientos. Con la ayuda de las fibras naturales la hidrosiembra puede ser utilizada en taludes de alturas importantes, en donde el material proyectado no es desperdiciado (comparado con los métodos tradicionales). Los resultados de esta combinación se puede ver reflejada a las tres semanas o al mes de realizado el trabajo, es recomendable que se realice la proyección de las semillas y nutrientes en épocas de lluvia, pues a esta siembra se le debe hacer riego diario y en condiciones climáticas de lluvia permanecerá con agua la mayor parte del tiempo, ahorrando el costo del sistema de riego, las coberturas que crecen con la combinación no son tóxicas para la fauna salvaje ni para los animales de la zona.



Fotografía 2. Vía la Ceja – Abejorral Proyecto realizado por la Gobernación de Antioquia. [Fuente: Vertier]. hidrosiembra

#### IV. DISCUSION ACERCA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS FIBRAS NATURALES EN LA ESTABILIDAD DE TALUDES

En un contexto nacional e internacional, se puede saber que las fibras naturales son un excelente material que forma los biomantos para que trabajen con métodos como la hidrosiembra y así lograr estabilizar un terreno en diferentes tipos de suelos existentes en un lugar.

Como se mencionó anteriormente la hidrosiembra tiene la ventaja de incorporar las semillas a los terrenos gracias a la presión del agua y su velocidad con la que se proyecta, mientras que las fibras naturales tienen gran poder de revegetación, dado excelentes resultados al respecto; se han demostrado en laboratorios que las fibras naturales ayudan a la ductilidad, conductividades hidráulicas, la resistencia a la compresión del suelo que se está mejorando, la combinación de las fibras y la hidrosiembra genera más economía para la estabilidad de taludes, respecto a métodos tradicionales como el concreto lanzado, gaviones, o fibras sintéticas.

Otra característica que resalta las fibras naturales es el manejo fácil para su instalación, dan uniformidad al terreno, sirven de materia orgánica en el suelo y aprovechan residuos para generar un proceso natural como por ejemplo la fotosíntesis, además son un gran protector del agua ya que retienen la humedad, ayudan a manejar las escorrentías de aguas lluvias y los efectos del viento, mejorando el aspecto en el sitio de aplicación en corto tiempo y lo más importante reduce la erosión y los deslizamientos [37].

#### V. CONCLUSIONES

Las diversas investigaciones citadas en el artículo nos contextualizan la importancia de la aplicabilidad de bioingeniería en las obras ingenieriles, como es la estabilidad de taludes con fibra vegetales de coco, sisal y yute. Estas fibras en una primera instancia disminuyen procesos erosivos que son muy comunes en los suelos residuales; teniendo un indudable valor paisajístico y ecológico a un bajo costo.

La implementación de manta de fibras vegetales complementada con la hidrosiembra forma un método favorable para la estabilización de taludes con pendientes altas en suelos áridos y erosionados donde se dificulta el manejo de revegetación convencional, esta técnica retiene

la humedad lo cual favorece la germinación de las semillas permitiendo una revegetación mas rápida y efectiva.

La desaparición de la vegetación es una de las principales causas de erosión de los suelos, lo cual es fundamental tratar del inicio de una obra de ingeniería aplicando técnicas que sean favorables con el medio ambiente, la utilización de revegetación en taludes protege el suelo del impacto de las gotas de lluvia, reduce el agua de escorrentía, controla la infiltración del agua, mejora la cohesión del suelo gracias a las raíces.

Es primordial en el momento del manejo de revegetación de talud tener en cuenta su pendiente, tipo de suelo, localización geográfica para escoger una vegetación variada y adecuada al suelo a tratar, es necesario realizar un mantenimiento constante hasta que esta vegetación sea autosuficiente. Puesto que esta juega un papel importante para el control de la erosión y deslizamiento de los taludes.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Christian Gutiérrez por su apoyo con herramientas con las cuales nos asesoramos para el desarrollo de nuestro artículo, al profesor Roy Morales quien nos orientó en la parte Metodológica, al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, sede Chihuahua por la realización del Seminario Internacional de Geotecnia, en especial al Ingeniero vocero Leonel Barrientos quien nos acompañara en todo el proceso academico, al personal Administrativo de la Universidad la Gran Colombia quien nos apoyó para la representación de nuestra Universidad en México.

A cada uno de nuestros familiares quienes nos acompañaron en la trayectoria de nuestra carrera universitaria y quienes nunca nos desampararon a pesar de los obstáculos durante los años de estudio.

#### REFERENCIAS

[1] Suárez Diaz, Jaime (1998). Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad industrial de Santander- Colombia. *Publicaciones UIS* capítulos 6-8.

[2] Suárez Diaz, Jaime, Deslizamientos: Técnicas de Remediación. Volumen 2. Metodos de Manejo y Estabilización. Capitulo 1.

[3] Lee W. Abramson, Thomas S. Lee, Sunil Sharma, Glenn M. Boyce. Slope Stability and Stabilization Methods / Edition 2.

[4] R. J. Lutton, G. L. Regan, and L. W. Jones. Design and construction of covers for solid waste landfills. (1979). by Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Municipal Environmental Research Laboratory, for sale by the National Technical Information Service in Cincinnati, Ohio, Springfield, Va.

[5] Terzaghi K. (1936), "Presidential Address given at the First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering at Harvard University, Cambridge.

[6] Estabilidad de Taludes: Algunos Casos de Estudio en la Ciudad de Manizales y sus Alrededores, disponible en: <http://geotecnia-sor.blogspot.com/2013/04/estabilidad-de-taludes-algunos-casos-de.html>.

[7] Miravete, Antonio. Los Nuevos Materiales En La Construcción, autor-editor, 1995. Cap 1

[8] Castro, Leonardo. Los Plásticos En El Ámbito Mundial. Junio 2012. Disponible en: <https://airdplastico.wordpress.com/2011/06/02/los-plasticos-en-el-ambito-mundial/>

[9] Geosistemas Pavco. Normas de Ensayo y especificaciones de construcción. Disponible en: [http://www.geosoftpavco.com/manual\\_geosinteticos\\_files/OEBPS/ibook\\_split\\_004.xhtml](http://www.geosoftpavco.com/manual_geosinteticos_files/OEBPS/ibook_split_004.xhtml) Pagina Web Citado el 11 de Febrero de 2015

[10] Resolución 1083 del 04 de octubre de 1996, disponible en: <http://www.carder.gov.co/app/webroot/index.php/intradocuments/webDownload/legislacion-1996--r-1083->

[11] Diaz Mendoza, Claudia. Alternatives for erosion control by using conventional coverage, non- using conventional coverage, non-conventional coverage and revegetation. *Ingeniería e investigación*, 1 vol. 31 no. 3, (December 2011) P (80-90).

[12] Geomatrix, Manto para control de erosión y revegetalización Biotex, s. d.

[13] Hudson, N., Conservación del suelo. 1982, Editorial Reverte España, P (77-95).



- [14] Morgan, R. P., Urbano López, Meneses C.,J. Erosión y conservación del suelo., Longman group limited, 1995. ISBN: 84-7114-679-7
- [15] A. Shalwan. In State of Art: Mechanical and tribological behaviour of polymeric composites based on natural fibres. *Revista Materials and Design* 48, P14–24. (2013)
- [16] Seminario Nuevas Tecnologías Para La Estabilización De Suelos Y Taludes. Disponible en: <http://cciantioquia.com/component/k2/1-articulos-camara-colombiana-de-la-infraestructura-antioquia/seminario-nuevas-tecnolog%C3%ADas-para-la-estabilizaci%C3%B3n-de-suelos-y-taludes.html>. Pagina Web Citado el 19 de Febrero de 2015
- [17] Compañía de Empaques, Medellín Colombia. Control de erosión y refuerzos superficiales de taludes con fibras ecológicas. Disponible en: <http://cciantioquia.com/component/k2/1-articulos-camara-colombiana-de-la-infraestructura-antioquia/seminario-nuevas-tecnolog%C3%ADas-para-la-estabilizaci%C3%B3n-de-suelos-y-taludes.html>. Pagina Web Citado el 14 de Febrero de 2015
- [18] Qi Shao, Saito Makoto y otros. Effectiveness of geotextile mulches for slope restoration in semi-arid northern China. *Revista Catena* 116 (2014). (16 December 2013). P1–9.
- [19] Carillo, A. G. (1978) Características de los Suelos Tropicales del Perú, *Revista Latinoamericana de Geotécnica* Vol. IV, N°4 pp. 207-216
- [20] Brand E.W., Phillipson H.B. (1985) “Review of International Practice for the Sampling and Testing of Residual Soils”. *Sampling and Testing of Residual Soils. A Review of International Practice.*- Hong Kong.
- [21] Camacaro Merlyn, Cervantes Gerardo (Enero 2012), Suelos residuales y Coluviones. Universidad Central de Venezuela. P 6-27.
- [22] Manual Geosoft Pavco- Geotextiles. Bogota (1992) [http://www.mexichem.com.mx/Sol\\_Integrales/Geosinteticos/pdfs/Manual\\_Disen%C3%B3\\_8aEdici%C3%B3n/Manual\\_Disen%C3%B3\\_Geosinteticos\\_OctavaEdici%C3%B3n.pdf](http://www.mexichem.com.mx/Sol_Integrales/Geosinteticos/pdfs/Manual_Disen%C3%B3_8aEdici%C3%B3n/Manual_Disen%C3%B3_Geosinteticos_OctavaEdici%C3%B3n.pdf) Web Citado el 25 de Febrero de 2015. P 5
- [23] Centeno Pulido, Francisco Antonio. Ingeniería biotécnica y bioingeniería. Nuevas tendencias de la geotecnia para las obras de tierra, la estabilización de taludes y el control de la erosión. *XVII Seminario Venezolano de Geotecnia Del Estado del Arte a la Práctica*.P 1-30.
- [24] Abe, Ziemer, R.R. 1991. Effect of tree roots on a shear zone: modeling reinforced shear stress. *Canadian Journal Forest Research* 21 (7): 1012–1019. On line Internet: <http://www.rsl.psw.fs.fed.us>
- [25] Suárez Diaz, Jaime (1998). Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad industrial de Santander- Colombia. *Publicaciones UIS* capítulo 8.
- [26] Sidle, R C, Pearce A J and O’Laughlin C L 1985. Hillslope stability and land use. *Water Resoures Monograph No. 11, American Geophysical Union, Washington, D.C.*
- [27] Schiechl H.M. (1980), *Bioengineering for land Reclamation and Conservation University of Alberta Press, Edmonton Alberta Canadá.* P 405.
- [28] Tsukamoto Y., Kusakabe O. (1984) “Vegetative influences on Debris Slide Occurrences on Steep Slopes in Japan”. *Symposium on effects of Forest Land Use on Erosion and Slope Stability, Honolulu*
- [29] Leventhal A.R. - Mostyn G.R. (1987) “Slope Stabilization Techniques and Their Application”, *Soil Slope Instability and Stabilisation* “ Edited By Walker B. and Fell R., A.A. Balkema, pp. 183-230, Rotterdam.
- [30] P, Mwashia Abrahams. Coir Fibre: A Sustainable Engineering Material for the Caribbean Environment. *The College of The Bahamas Research Journal. Vol. 15.* (2009).P 36-44.
- [31] Mathura Nadira, *Sustainable Coastal Engineering In The Caribbean: A Coir Fibre Approach, San Agustín, Universidad de las Indias Occidentales,* (2012).P 1-7.
- [32] Rodrigues Marques Andréa, Santiago de Oliveira Patrícia, Patrício, Soares dos Santos Fábio, Lopes Monteiro Monisa, Denise de Carvalho Urashim, Conrado de Souza Rodrigues. Effects of the climatic conditions of the southeastern Brazil on degradation the fibers of coir-

geotextile: Evaluation of mechanical and structural properties. (12 de noviembre de 2013).P 1-7.

[33] Belaadi a Ahmed, Bezazi a Abderrezak, Bourchak b Mostefa, Scarpa c,d Fabrizio, Zhu Chenchen, Thermochemical and statistical mechanical properties of natural sisal fibres, ,( 24 de julio de 2014).P 1-9.

[34] Sayyed Mahdi Hejazi a, Mohammad Sheikhzadeh a, Sayyed Mahdi Abtahi b, Ali Zadhoush, A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers, (29 de Diciembre de 2011).P 1-17.

[35] Prabakar J., Sridharb R.S., “Effect of Random Inclusion of Sisal Fibre on Strength Behaviour of Soil”. *Construction and Building Materials, No. 16*, (2002).P 123-131.

[36] Centeno Pulido, Francisco Antonio. Ingeniería biotécnica y bioingeniería. Nuevas tendencias de la geotecnia para las obras de tierra, la estabilización de taludes y el control de la erosión. *XVII Seminario Venezolano de Geotecnia Del Estado del Arte a la Práctica*.P 1-30.

[37] Principales ventajas de la Biomanta.Fibratzch.  
<http://www.fibrztech.com/es/porque-usar-principales-ventajas/> Página Web Citado el 12 de Febrero de 2015.