

BIOENGINEERING APPLIED TO THE STABILIZATION OF SLOPES OF SOILS IN GUATEMALA

Garzón Garzón, Eduardo¹; González-Miranda, Flor Mayo²; Sánchez-Garrido, Juan Antonio³; Sánchez-Soto, Pedro José⁴

¹Universidad de Almería, ²Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de San Carlos de Guatemala, ³Depto de Agronomía, Universidad de Almería, ⁴Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, Centro Mixto Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)-Universidad de Sevilla (US)

In this communication it is presented a study concerning the sowing of Vetiveria Zizanioides using slopes of selected grounds in Guatemala as an example of Bioengineering applied in the stabilization of these slopes. The objective is to decrease the erosion provoked by episodes of torrential rains. For this purpose, the sowing has been performed on a soil previously characterized by X-Ray Diffraction, pH, electrical conductivity, soluble salts, organic matter and capacity of exchangeable cations. Other determinations have been the granulometric analysis, liquid and plastic limits and shear strength. The results are presented and discussed as a function of the main characteristics of the original soil.

Keywords: Bioengineering; stabilization; slopes; Guatemala

BIOINGENIERÍA APLICADA EN LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES DE TIERRAS DE CULTIVO EN GUATEMALA

Se estudia la plantación de Vetiveria Zizanioides en taludes de tierras de Guatemala como ejemplo de bioingeniería aplicada en la estabilización de dichos taludes. El objetivo es conseguir disminuir la erosión provocada por los episodios de lluvias torrenciales. Para ello se ha realizado el trasplante sobre un suelo caracterizado por difracción de rayos X, pH, conductividad eléctrica, sales solubles, materia orgánica, capacidad de intercambio cationico, además de análisis granulométrico, límites líquido y plástico y corte directo. Se presentan los resultados obtenidos y se discuten en función de las principales características del suelo original.

Palabras clave: Bioingeniería; estabilización; taludes; Guatemala

1. Introducción

Debido a los cambios climáticos, los períodos de invierno en Guatemala se acentúan y los niveles de precipitación de lluvia se incrementan. Estas condiciones se hacen cada vez más notorias y tienen como consecuencia pérdida de vidas humanas, destrucción de obras de infraestructura como puentes y carreteras, pérdida de cosechas, así como daños en viviendas y accesos particulares. Los impactos sociales y económicos no pueden cuantificarse (González-Miranda y Garzón, 2014).

El impacto social implica dejar comunidades aisladas sin recursos para cubrir emergencias médicas. El impacto económico conlleva la interrupción de canales de distribución de productos. Para las poblaciones eminentemente rurales implica pérdida de cosechas, ya que sus productos son perecederos.

En el campo específico de las carreteras es de destacar que el deslizamiento de taludes de tierra y la erosión del suelo bloquean numerosos tramos con el consiguiente coste de reconstrucción y reparaciones de la capa asfáltica, el coste de la limpieza de tierra, piedras y material vegetativo que interrumpen las vías, así como el coste de transporte de dicho escombros hacia las áreas que causen menor impacto ambiental.

Además, cabe resaltar que la topografía de Guatemala es muy irregular, con varias cordilleras montañosas y un numeroso conjunto de volcanes, excepción hecha de la costa del Pacífico y las tierras altas del norte (departamento del Petén). Este factor hace que, al trazarse las carreteras, sea necesario hacer cortes verticales en las áreas de mayor elevación, dando lugar a taludes de tierra.

Según datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH), se tenía un pronóstico de 1.057 milímetros de precipitación de lluvia para el departamento de Retalhuleu, cuyo nivel fue el más elevado para 2011, rebasando las expectativas. En otros antecedentes de actividad pluvial en el país, durante la tormenta tropical Agatha se registraron entre 400 a 500 milímetros de precipitación acumulada en el período comprendido del 25 al 30 de mayo del 2010 en las áreas más afectadas; también se registraron acumulaciones de lluvia entre 300 y 400 milímetros para los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Chimaltenango, Sacatepéquez, Escuintla y Santa Rosa. Dicho fenómeno tuvo como consecuencia la obstrucción de tramos de carreteras, así como la destrucción de las infraestructuras viales (González-Miranda y Garzón, 2014).

Se hace evidente que los derrumbes y el deslizamiento de tierras en las carreteras de Guatemala han provocado la pérdida de vidas humanas, así como la destrucción de tramos en las principales carreteras del país y caminos secundarios. Por todo lo anterior, se recomienda reforzar el uso de la bioingeniería para la prevención de desastres y la conservación de carreteras. No obstante, es pertinente hacer una observación: muchos taludes fallan por no tener el ángulo de talud correcto debido a que los propietarios no ceden los espacios pertinentes para cumplir con las especificaciones técnicas. Sobre este punto, la bioingeniería en el campo de la ingeniería civil se define como: "La inclusión de pastos, arbustos, árboles y otros tipos de vegetación en el diseño de ingeniería para mejorar y proteger laderas, terraplenes y estructuras, así como cuencas, de la erosión y derrumbes superficiales causados por la lluvia, por sobresaturación de humedad de los suelos, por la acción del aire o por la acción humana: explotación de tierras y minerales, deforestación, etc".

La bioingeniería supone una disminución importante de costes, para protección de taludes, pues se usan plantas nativas en lugar de muros de hormigón y de sistemas celulares de confinamiento (geocélulas). No obstante, las últimas pueden usarse combinadamente con la

vegetación en casos donde la estructura del suelo así lo permita. Algunas de las razones para utilizar capas vegetales para recubrimiento de taludes son las siguientes:

1) Razones hidrológicas: a) La vegetación disminuye la velocidad del agua hacia y sobre una superficie de talud, pues el agua debe viajar a la largo del cuerpo de la planta para llegar a su estructura subyacente; b) la vegetación disminuye el volumen del agua hacia y sobre la superficie del talud porque el líquido queda atrapado en distintas partes de la planta y por absorción para la vida del vegetal, debido en parte al flujo radicular, efectos de evaporación en las hojas, transporte del vapor y la infiltración; c) cuando se tienen diferentes capas de follaje a diferentes alturas, el agua viaja de una capa vegetativa a otra disminuyendo su impacto hacia la tierra del talud y, por último, d) la vegetación soporta el golpe inicial de las gotas de agua en lugar de que choque directamente con el suelo y además hace más pequeña la gota que llega al suelo y, de esta forma, ya no arranca la capa de suelo.

2) Razones Mecánicas: a) La vegetación aumenta la fuerza de la tierra, formando redes de cohesión entre las partículas de tierra y porciones radiculares; el atrapamiento de sólidos finos de la tierra la hace más estable, disminuyendo las fallas del montículo por deslizamiento (Rivera-Posada y Sinisterra-Reyes, 2005); b) disminuye la velocidad del viento de y hacia el talud y, por último, c) reduce las escorrentías por obstaculización de flujos lineales verticales.

3) Razones Ambientales: a) El uso de recubrimientos vegetales en los taludes disminuye la contaminación visual que involucra el recorte de las capas terrestres; b) el uso de árboles frutales, medicinales o de uso industrial, mejora la economía de los habitantes del lugar y, por ende, su calidad de vida y, por último c) el uso de pastos ayuda a la alimentación de ganado y este por apisonamiento, mejora las capacidades de adherencia de la tierra.

4) Razones Económicas: a) Para la administración, se disminuyen los costes de reparación y reconstrucción de carreteras, mantenimiento y acarreo de material por deslizamientos; b) para el contratista, disminuye el coste, ya que la vegetación resulta más económica que el uso de hormigón y, por último c) para la población supone seguridad vial y el mantenimiento de la población económicamente activa, ya que no se interrumpe la actividad productiva.

En este sentido se han realizado varios proyectos que han utilizado la bioingeniería para el mantenimiento de taludes en Guatemala. Son de destacar los siguientes: 1) el proyecto vial denominado Franja Transversal del Norte, Tramo IV, bifurcación Tres Ríos, finca La Trinidad: se utilizó pasto Estrella (*Cynodon Plectortactum*) y Mombasa (*Panicum Maximum*), establecidos en vertederos, para evitar la erosión hídrica; 2) en el tramo I, San Julián, Puente Chascó, en Alta Verapaz, se restableció la vegetación en aquellos sitios en donde la cobertura vegetal se vió afectada, utilizando para el caso falso maní (*Arachys pintoi Krapovicis*), con excelentes resultados, pues el falso maní crea un manto protector cuyas plantas dan lugar a nuevos retoños aumentando por sí misma el área cubierta; 3) en el tramo CA01-Santa Bárbara se estabilizaron los taludes con recubrimiento de barreras vivas utilizando carrizo; 3) en el tramo RDSM-18 Tejutla-San Miguel Ixtahuacán; RDSM-02 desvío Concepción Tutuapa, DDSM-01 Tejutla-Comitancillo y RDSM-13 Santa Irene-Río Blanco se usó Kikuyu y, por último, en el tramo I: Bifurcación CA-13 kilómetro 314 (modesto Méndez)-final del puente sobre el río San Ramón, entrada a Raxruhá del proyecto Franja Transversal del Norte, la empresa Solel Boneh hizo uso de la hidrosiembra, utilizando para el efecto braquiaria (*Brachiaria Decumbens* Slapt) (González-Miranda y Garzón, 2014).

También se han realizado experiencias similares en algunos países latinoamericanos, como Venezuela en lo que hoy es la zona cafetalera del viejo Caldas, Valle de Risalda y Valle del

Cuenca en los alrededores de Pereira y Cartago, habiendo demostrado ser un acierto en la protección de taludes mediante bioingeniería.

En el caso de Colombia, su clima tropical hace que en términos generales tenga niveles de precipitación de lluvia muy altos, con promedios anuales de lluvia entre 1.000 a 3.000 milímetros, y con el cuarenta por ciento de las lluvias con una intensidad superior a 25 mm/hora. Además de esto, su topografía accidentada, en concordancia con la de Guatemala, que incluye los andes colombianos, genera muy altas velocidades en las corrientes generando derrumbes. Por otra parte, la característica de los suelos acrecienta el fenómeno de la erosión. Por todo lo anterior, en Colombia se usa la bioingeniería, especialmente usando pastos vetiver (*Vetiveria Zizanioides*), maní forrajero (Rivera-Posada y Sinisterra-Reyes, 2005), bambú (guadua) y los árboles nativos que tengan raíces cohesivas, con excelentes resultados.

La construcción de la planta Hidroeléctrica Simón Bolívar en Hurí (Venezuela), requirió de la explotación de préstamos y canteras, localizadas cerca del sitio de la presa. Se explotaron 500 hectáreas de bosques para garantizar el volumen de material requerido por la obra, a costos razonables. La extracción de alrededor de 60 millones de metros cúbicos de materiales causó desequilibrios ecológicos en esas áreas. Con la remoción de la vegetación natural quedaron expuestos sobre la superficie perfiles rocosos y rocas sueltas. Se excavaron taludes muy inclinados de alta susceptibilidad de erosión y, en general, se dejaron zonas con muy pobre drenaje. Los suelos eran de naturaleza residual y, tras una fase de evaluación, se comprobó la efectividad del uso del zacatón. Esto se logró en dos fases: 1) siembra de plantas adultas de "Carrizo" (macollas) en hileras perpendiculares a la pendiente del terreno, definiendo sobre éste franjas en curva de nivel de aproximadamente 1,20 m de ancho y separadas entre sí de 4 a 5 metros dependiendo de la pendiente; 2) siembra de las franjas dejadas entre cada dos "Barreras Vivas" con especies rastreras y arbóreas autóctonas, ambas en macetas o cepellones, distribuidos sobre el terreno en curvas de nivel.

Asimismo, el bambú ha sido muy utilizado en Puerto Rico para proteger las carreteras. En Xalapa, Veracruz, México, treinta y cinco mil plantas de bambú han sido plantadas para detener las laderas de alrededor de treinta y cinco colonias de la zona oeste, protegiendo así las vidas de familias que están asentadas en zonas de alto riesgo.

El uso del bambú como disipador de la energía de la escorrentía para llevar dicha agua de una cuenca a otra, como un elemento más de protección, se usa en la cárcava El Chicharronal en Colombia. También la evacuación de aguas superficiales mediante trinchos escalonados en guadua (*Guadua angustifolia*) obran como disipadores de energía en las Fincas Providencia y La Aurora (Palestina Caldas) en Venezuela.

El objetivo del presente estudio es conseguir disminuir la erosión provocada por las lluvias torrenciales y los costes directos e indirectos relacionados. Para ello se van a utilizar herramientas de bioingeniería, trabajando con *Vetiveria Zizanioides*, especie muy abundante en Guatemala y sobre la que se han realizado escasos trabajos de investigación.

2. Material y métodos

Se ha realizado el trasplante de *Vetiveria Zizanioides* (Figura 1) el 03/02/2015, en el campo de prácticas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, sobre un suelo caracterizado con ensayos físicos, químicos y geotécnicos a lo largo del tiempo. Para la mineralogía se utilizó difracción de rayos X mediante el uso de un difractómetro Siemens, modelo D-501, con radiación K α del cobre, filtro de níquel y monocromador de grafito, a 26 mA y 36 kV. Los difractogramas se obtuvieron con una velocidad de barrido de 1° en 2 θ -min-1. Y para la identificación de las fases cristalinas se empleó el programa informático SICOMP PC 16-20

System, y el fichero JCPDS (Joint Committee For Powder Diffraction Standard). Se realizaron diagramas de polvo desorientados y orientados en agua y saturados de vapor de etilenglicol, con el objeto de conseguir el mayor número de datos posibles para la completa identificación de los minerales presentes.

Además, se realizaron ensayos para determinar el pH, la conductividad eléctrica, las sales solubles, yeso, sulfato, carbonato de calcio, materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico del suelo original, según los protocolos establecidos por Maraños et al. (1994).

También se han planificado varios ensayos geotécnicos, en el suelo sin *Vetiveria* y sobre el suelo plantado en diferentes estadios de desarrollo del cultivo. El análisis granulométrico se realizó siguiendo la norma ASTM D6913-04 (2009). En cuanto a los límites de Atterberg (límites líquido y plástico) se empleó la norma ASTM D4318-05 (ASTM 2005). Y por último el corte directo (sin consolidar y sin drenar) en un equipo triaxial, siguiendo la norma ASTM D6528-07 (2007).

Figura 1: Plantación de *Vetiveria Zizanioides* en taludes de tierra de Guatemala



3. Resultados y discusión

3.1. Mineralogía por difracción de rayos X

a) Suelo sin cultivo

Los difractogramas de rayos X (DRX) de las dos muestras estudiadas DVH2 y HSF, permiten deducir una composición mineralógica para la muestra DVH2 (difractograma de

polvo desorientado) con cuarzo (sílice), hematites, feldespatos como son albita (sódica) y con calcio y sodio, además de un óxido de hierro hidratado denominado maghemita. Una vez estudiados los tres difratogramas (en polvo, orientado en agua y orientado saturado de vapor de etilenglicol), se ha conseguido precisar la existencia de “metahaloisita”, un silicato de aluminio hidroxilado en tránsito a haloisita, y posible caolinita, junto a cuarzo (sílice) y feldespato (anortoclasa), además de una fase mineral denominada chamosita.

En la muestra HSF, identificados en una primera aproximación maghemita y albita, sin cuarzo, con la serie de agregados orientados en agua y etilenglicol se ha conseguido identificar también a metahaloisita y chamosita, junto a albita y un silicato hidroxilado complejo que está compuesto de sodio y de hierro, denominado riebeckita.

b) Suelo sin cultivo (muestra tomada a 1 m de profundidad)

En la muestra preparada en montaje desorientado, se ha identificado la presencia de las fases cristalinas siguientes: sílice (SiO_2), feldespato tipo albita (conteniendo sodio y calcio, aunque seguramente deben ser más feldespatos de la familia de minerales) y el mismo silicato hidroxilado denominado riebeckita.

En el agregado orientado en agua y etilenglicol se confirman las fases cristalinas anteriores y, además de posible material amorfo, no se detectan minerales hinchables de tipo montmorillonita. En todo caso, hay indicios plausibles de la presencia en muy baja proporción relativa de mica moscovita, pero con espaciados basales ensanchados, entre 7-10 $^{\circ}2\theta$, asociados a una baja cristalinidad y/o bajo tamaño de partículas de este silicato.

c) Suelo 1 año después del trasplante de Vetiveria (muestra cogida bajo raíz)

En la muestra en montaje desorientado se ha identificado la presencia de sílice (SiO_2), feldespato albita (conteniendo sodio y calcio, aunque seguramente deben ser más feldespatos de la familia de minerales), óxido de hierro hidratado denominado Maghemita y otro silicato hidroxilado que contiene sodio, pero también hierro, denominado riebeckita.

En el agregado orientado en agua, además de los anteriores, se ha conseguido identificar la presencia en muy baja proporción relativa de mica moscovita que se orienta al ser un silicato laminar.

d) Suelo 16 meses después del trasplante de Vetiveria (muestra cogida bajo raíz).

En la muestra preparada en montaje desorientado se ha identificado por difracción de rayos X la presencia de las fases cristalinas siguientes:

Cuarzo (SiO_2), sílice cristalizada y que debe ser la forma α (porque la otra forma del cuarzo se induce por tratamiento térmico por encima de 573 $^{\circ}\text{C}$).

Albita, (conteniendo sodio y calcio, aunque seguramente deben ser más feldespatos de la familia de minerales)

Riebeckita, otro silicato hidroxilado que contiene sodio, pero también hierro ya mencionado.

Maghemita, un óxido cristalino hidratado de hierro.

En el agregado orientado en agua y etilenglicol se confirman las fases cristalinas anteriores y, además, la posible presencia de material amorfo. Se puede observar también que algunos espaciados característicos de la riebeckita y maghemita no se intensifican en los DRX de agregados orientados, sino que disminuye su intensidad relativa. No se detectan minerales hinchables de tipo montmorillonita, aunque hay una ancha banda entre 11-13 $^{\circ}2\theta$, asociada a una baja cristalinidad y/o bajo tamaño de partículas, de posibles minerales hinchables. Sin embargo, no se acusan en las zonas bajas de ángulos 2θ como se podría esperar y más en el agregado orientado saturado con vapores de etilenglicol, así que se podrían descartar. Para ello, el difratograma se ha ampliado en la zona de estudio desde 4 hasta 43 $^{\circ}2\theta$

3.2. Ensayos químicos

Según USDA, 1971 el pH del suelo sin cultivo sería medianamente ácido, ya que está comprendido entre 5,6 y 6,1. También el contenido de carbonatos como CaCO_3 registra valores muy bajos en las condiciones de ensayo, lo que está relacionado con la ausencia de caliza. Igualmente la conductividad eléctrica es < 2 , lo que implica que la salinidad del suelo es despreciable (Marañes et al., 1994). Con estos valores de salinidad se puede desarrollar cualquier tipo de cultivo. En cuanto a los niveles de materia orgánica, van de un nivel normal de 2% (DVH2) a un nivel muy alto de 4% (HSF), lo que implica que se trata de suelos muy fértiles para el desarrollo agrícola. Por último los niveles de sales solubles, yeso y sulfatos son prácticamente despreciables (Tabla 1).

Tabla 1: Parámetros químicos de las muestras de suelos procedentes de Guatemala

Suelo	pH	Conductividad eléctrica (dS/m)	Sales solubles (%)	Yeso (%)	Sulfato (mg/l)	CaCO_3 eq. (%)	Materia orgánica (%)	Capacidad de intercambio iónico (meq/100 gr suelo)
DVH2	5,89	0,50	0,03	n.d.	n.d.	0,0	2,0	151,7
HSF	6,04	0,71	0,04	n.d.	n.d.	0,0	4,2	191,7

n.d.: No detectado.

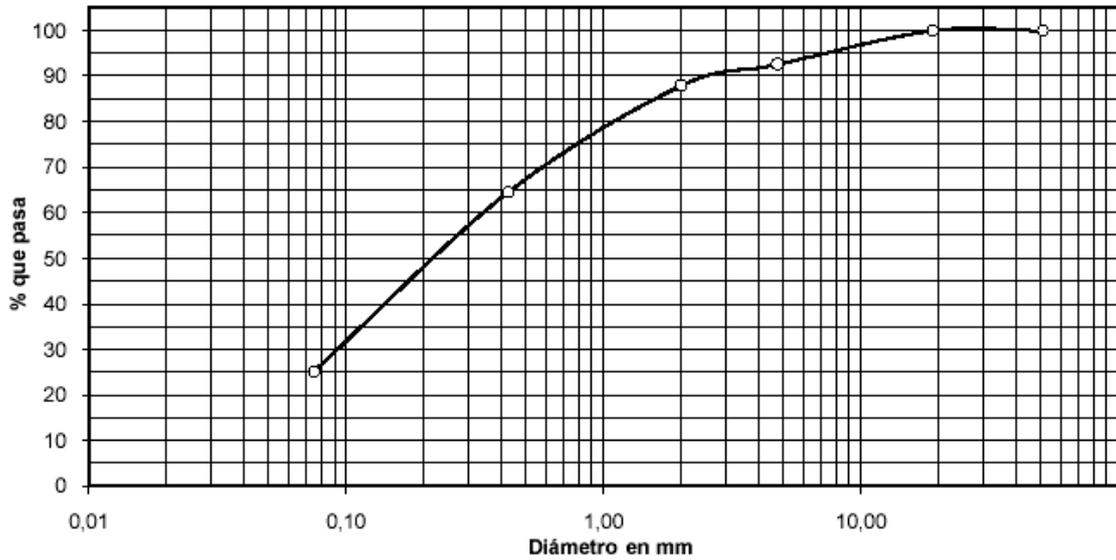
3.3. Ensayos geotécnicos

En la tabla 2 y figura 2 se observa cómo evoluciona la granulometría con el desarrollo de la planta.

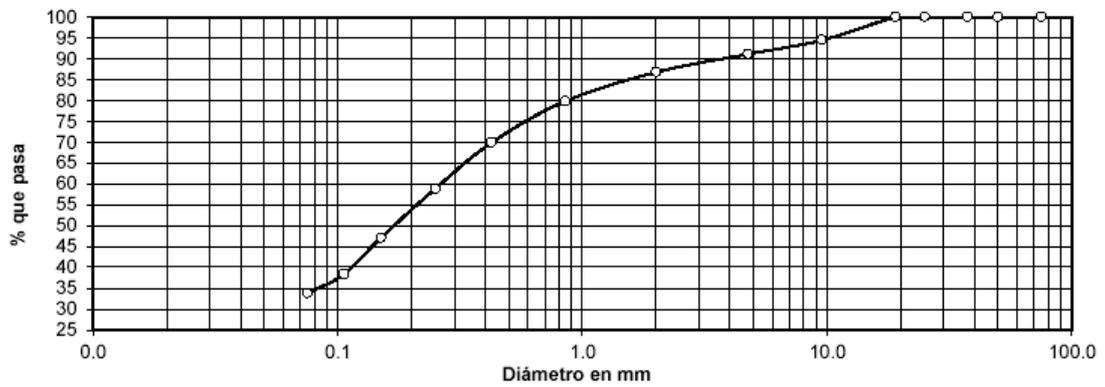
Tabla 2: Evolución de la textura del suelo con el desarrollo de la planta

Fecha	Cultivo	Profundidad de muestreo	Textura		
			Grava (%)	Arena (%)	Arcilla (%)
14/05/2014	No	Superficial	7,46	67,38	25,16
01/09/2015	Si	1 m	8,84	57,36	33,80
06/12/2015	Si	Superficial	12,48	65,17	22,35

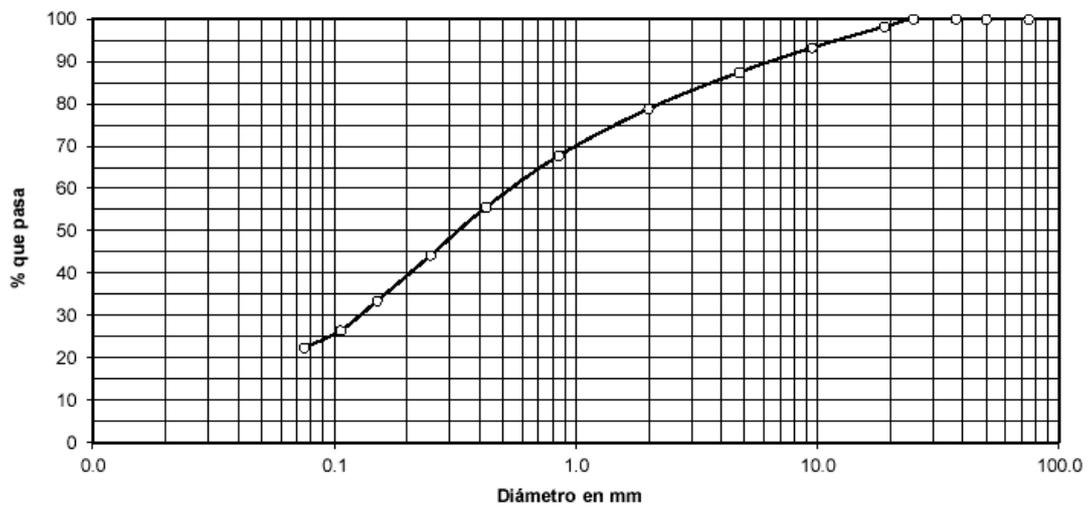
Figura 2: Evolución de la granulometría del suelo con el desarrollo de Vetiveria



a) Suelo original (sin cultivo - 14/05/2014)



b) Suelo original (con cultivo y a un metro de profundidad - 1/09/2015)



c) Suelo original (con cultivo - 6/12/2015)

En la tabla 3 se observa que la plasticidad del suelo disminuye hasta que desaparece, bajo la acción del cultivo. Según la clasificación unificada de Casagrande cambia de CL (arcillas inorgánicas de débil a media plasticidad o arcillas gravilosas, arenosas, limosas, arcillas delgadas) a ML (arenas inorgánicas o arenas muy finas, arenas limosas o arcillosas o limo-arcillas con débil plasticidad). Teniendo en consideración la granulometría y la plasticidad el suelo sin cultivo se clasifica como A₂₋₄ que corresponde con gravas y arenas limosas o arcillosas, según la Highway Research Board (Dal-ré 1994).

Tabla 3: Evolución de los límites de Atterberg y clasificación

Fecha	Cultivo	LL	IP	Clasificación unificada de Casagrande
14/05/2014	No	27,9	7,9	CL
30/04/2015	Si	NP	NP	ML

NP: No plástico

Por ultimo, en la tabla 4 se observa que en la evolución temporal la plantación de Vetiveria va aumentando el ángulo de rozamiento interno del suelo y va disminuyendo la cohesión con el desarrollo radicular de la planta.

Tabla 4: Evolución de los valores de cohesión y del rozamiento interno con el desarrollo radicular de Vetiveria

Fecha	Cultivo	Angulo de rozamiento Interno (ϕ)	Cohesión (Cu) (Tn/m ²)
14/05/2014	No	25,13	25,65
01/05/2015	Si	38,03	1,29
01/09/2015	No	31,69	2,05
01/09/2015	Si	40,63	1,45

En definitiva, el análisis de los parámetros químicos indica que el suelo original es un poco ácido, pero permite el desarrollo de cualquier tipo de cultivo. La mineralogía del suelo utilizado en el ensayo presenta cuarzo, hematites, albita, maghemita, metahalosita, ribeckita y pequeñas proporciones de un silicato laminar tipo moscovita. Además, el análisis mineralógico realizado en los diferentes estadios de desarrollo del cultivo ha permitido detectar la ausencia de compuestos minerales hinchables causantes de los deslizamientos de taludes.

La plantación de Vetiveria elimina la plasticidad al suelo original, pasando de CL a ML, según la clasificación unificada de Casagrande. También se han observado incrementos en

el ángulo de rozamiento interno y disminuciones en la cohesión. Esto mejora el comportamiento mecánico frente a deslizamientos de taludes en épocas de lluvias, lo que presenta gran interés en estudios de bioingeniería empleando este cultivo.

4. Referencias

- ASTM, D4318-05, (2005). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.
- ASTM D6913-04, (2009). *Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.
- ASTM D6528-07, (2007). *Standard Test Method for Consolidated Undrained Direct Simple Shear Testing of Cohesive Soils*. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International.
- Dal-ré, R. (1994). *Caminos rurales. Proyecto y construcción*. Madrid, España: Editorial Mundiprensa.
- González-Miranda, F.M., Garzón, E. (2014). El uso de la bioingeniería en la estabilización de taludes de tierras en Guatemala. *Agrícola Vergel*, 379, 378-381.
- Marañes, A., Sánchez-Garrido, A.A., Haro, S., Sánchez, S.T., Lozano, F.J. (1994). Análisis de suelos. Almería: Editorial Copysur.
- Rivera-Posada, J. H. y Sinisterra-Reyes, J.A. (2005). Restauración social de suelos degradados por erosión y Remociones Másales de Laderas Andinas del Valle del Cauca Colombia con la utilización de obras de Bioingeniería. En *V Congreso Nacional de Cuencas Hidrográficas*, (pp. 1-35). Santiago de Calí (Colombia).