

Evaluación de estabilidad y permeabilidad de talud con *sistema Vetiver* mediante diferentes ensayos de laboratorio y campo

Sulvia Victoria Arlet Matías Juárez

Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle de Guatemala
mat13044@uvg.edu.gt

RESUMEN: Los deslizamientos en taludes son comunes en Guatemala, en especial en época lluviosa. Para contribuir a su estabilidad, se tienen disponibles una variedad de soluciones, entre ellas podría considerarse el Sistema Vetiver. Por medio de este método, se busca evitar que las laderas sean propensas a la erosión. En el año 2012, se implementó el Sistema Vetiver en un talud ubicado dentro de la finca "La Concha" en Carretera a Boca del Monte, Guatemala. Este sistema se evaluó bajo tres condiciones: Sistema Vetiver, Sistema Vetiver en combinación con geomanta y en combinación con geotextil. En esta investigación, se busca dar continuidad al proyecto mencionado anteriormente, evaluando la evolución de la estabilidad de este talud, y el efecto que este sistema tuvo en la permeabilidad del suelo. Para ello, se realizó una investigación bibliográfica sobre el tema y se llevaron a cabo los ensayos de campo y laboratorio correspondientes. En base a los resultados obtenidos de los ensayos, se realizaron los cálculos de estabilidad y permeabilidad y se compararon con los resultados de estabilidad con los obtenidos en el año 2012. Además, se evaluó el efecto que tuvo el Sistema Vetiver en la permeabilidad del suelo, cinco años después de su implementación. Se concluye que el talud de estudio es estable debido a que sus factores de seguridad fueron altos en relación al valor recomendado. Además, se observó que a menor coeficiente de permeabilidad del suelo mayor fue la estabilidad del talud.

PALABRAS CLAVE: Sistema Vetiver, talud, estabilidad, permeabilidad y erosión.

The evaluation of stability and permeability in a slope with *Vetiver system* through different laboratory and field tests

ABSTRACT: Landslides on slopes are common in Guatemala, especially during the rainy season. To improve slope stability one of the available solutions is the *Vetiver System*. This method is considered to contribute in the slope erosion decrease. In 2012, the *Vetiver System* was implemented on a slope located inside the "La Concha" farm in Boca del Monte, Guatemala. This system was evaluated under three conditions: the *Vetiver System*, the *Vetiver System in combination with geomat* and the *combination with geotextile*. This research is a continuity to the project mentioned above, with the objective of evaluating the evolution of stability of this slope, and the effect that this system had during its development on soil permeability. This investigation is divided in two parts: a bibliographic research and field and the corresponding laboratory tests. Based on the field and laboratory results, the stability and permeability calculations were performed and the stability results were compared to those obtained in 2012. In addition, the effect of the *Vetiver System* on soil permeability was evaluated after five years of its implementation. It was found that the slope was stable because its safety factors were above the recommended values. Overall, the results concluded that when the coefficient of soil permeability decreased the stability of the slope increased.

KEYWORDS: *Vetiver system*, slope, stability, permeability and erosion.

Introducción

Guatemala es un país que está expuesto a eventos climáticos que pueden llegar a causar derrumbes debido a la inestabilidad de taludes, por lo que en muchos casos también la infraestructura vial se ve afectada. Los daños producidos por estos eventos representan inversiones altas y se busca medios para poder controlar los movimientos de masa de suelo siendo el caso de erosión o deslizamientos. Para este caso en particular, se escogió el “Sistema Vetiver” como una solución, este método se caracteriza por requerir menor mano de obra relativa y ser favorable al ambiente.

El Sistema Vetiver es un método con beneficios en especial en ingeniería. Su principal función es estabilizar taludes y evitar que el agua de escorrentía se lleve partículas de tierra. Esto se debe a que las plantas crecen en un enredo espeso y sus raíces se sumergen 4 metros al suelo, esto ayuda a formar una pared que evita que las laderas propensas a la erosión se desprendan. Este sistema ya ha sido utilizado en varias partes del mundo como es el caso de Costa Rica, Venezuela, Colombia, etc. (Hengchaovanich, 1998). La razón de ello es no solo por ser un método innovador y amigable para el ambiente, sino también porque puede ser utilizado en cualquier clima como tropical, subtropical o mediterráneo.

Este sistema se puede combinar con otros materiales, como es el caso de los geomantos que brinda una mayor protección reduciendo las posibilidades de fracaso del Sistema Vetiver, el cual puede ser causado ya sea por escorrentía e inestabilidad del talud. Para asegurar esto, se debe de colocar de manera correcta los geomantas considerando que, esté bien compactada el área, y se remueva todas las rocas, raíces, vegetación o cualquier obstáculo que pueda evitar el contacto del manto con la superficie del suelo (Castro, 2013).

También, se puede trabajar con el geotextil, el cual proporciona una cubierta protectora estable sobre la superficie del suelo, en especial con pendientes extremas. Además, permite un mayor control de los procesos erosivos y estabilización de taludes y laderas. Asimismo, evita el arrastre de las plantas de Vetiver y fertilizantes que se puedan aplicar (Corzo, 2013).

Para analizar la influencia del Sistema Vetiver en el talud, se realiza un análisis de estabilidad. Este consiste en verificar la seguridad de los taludes naturales o artificiales. En este proceso, se busca determinar y comparar el esfuerzo cortante a lo largo de la superficie más probable de falla con la resistencia cortante del suelo. Para establecer esta relación de fuerzas, se utiliza el factor de seguridad que puede ser encontrado de la siguiente manera:

$$FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (1)$$

Donde FS_s es el factor de seguridad con respecto a la resistencia, τ_f la resistencia cortante promedio del suelo y τ_d el esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla. Es importante mencionar, que cuando FS_s es igual a 1, el talud está en un estado de falla incipiente. Un valor de 1.5, es aceptable para el diseño de un talud estable (Das, 2001).

Al considerar el problema de la estabilidad de un talud, se puede resolver de distintas maneras. Se estudia taludes infinitos sin infiltración y finitos. En este último, se trabaja ya sea con superficie de falla plana o circularmente cilíndrica, los cuales se pueden hacer por métodos conocidos como Culmann, Bishop o dovelas, lo cuales se pueden dividir en Fellenius, Bishop y Morgenstern-Price.

De igual manera, se estudia las raíces de las plantas de cada tramo para conocer la evolución de estos a través de los años. Para ello, se lleva a cabo una prueba de fuerza a tensión de las raíces, donde sus resultados varían entre 40-180 MPa para un rango de diámetro de 0.2-2.2 mm. En cuanto a la prueba de corte, se ha encontrado que el crecimiento de las raíces de dos años puede aumentar la resistencia al corte de suelo un 39%. Igualmente, cabe mencionar que mientras el sistema de raíces sea denso y masivo del Vetiver ofrece mayor incremento de corte por unidad de concentración de fibra a comparación de las raíces de los árboles (Hengchaovanich, 1998).

También, se evalúa la permeabilidad ya que es una propiedad del suelo que permite conocer la capacidad del agua de pasar a través de los poros del suelo (Das, 2011), y debido a lluvias, corrientes de agua, lagos, etc, pueden producir modificaciones en la humedad y presión de poros que afectan la resistencia del suelo.

Para analizar esta propiedad, se estudia el coeficiente de permeabilidad que nos permite conocer la resistencia que ofrece el suelo a flujo de un fluido. Para determinarlo, se utilizan diferentes ensayos de laboratorio y campo. En la siguiente investigación, se utilizó un ensayo de carga constante, la cual mantiene un nivel de agua constante. El segundo, se denomina *slug test* el cual se caracteriza por ser un método rápido y económico, el cual mediante un cilindro plástico que se sumerge bajo el nivel freático hasta lograr el equilibrio, se puede conocer el nivel del agua (Angelone, Garibay, & Cauhapé, 2006).

Materiales y métodos

El estudio se dividió en dos partes, siendo una la investigación bibliográfica y la otra, estudios de campo y laboratorio. En la primera fase, se estudiaron los métodos de estabilización de taludes, tipo de fallas que pueden ocurrir en ellos, descripción de la planta Vetiver, funcionamiento del Sistema Vetiver, y los ensayos necesarios para evaluar la estabilidad y permeabilidad de los taludes.



Gráfica 1. Puntos donde se tomaron muestras del suelo de talud

La segunda fase consistió en realizar pruebas de campo y laboratorio para evaluar la permeabilidad y estabilidad del talud. Para ello, se tomaron muestras en dos puntos del talud, siendo la corona y pie de este (Gráfica 1). Al mismo tiempo, para analizar la permeabilidad, se extrajeron muestras antes y después de la época de lluvia. Es importante mencionar, que esto se realizó para cada tramo (sólo Vetiver, Vetiver con geomanta y Vetiver con geotextil).



Gráfica 2. Ensayo de tensión en raíces

Como primera instancia, se visitó el área de estudio; esta se encuentra ubicada dentro de una finca llamada “La Concha” en el km 11.5 Carretera a Boca del Monte. Para conocer las características actuales del suelo y evaluar si las condiciones del suelo tuvieron efecto en el crecimiento de la planta Vetiver, se realizaron varios ensayos como granulometría, límites de Atterberg, prueba de Proctor estándar y ensayo triaxial.

En cuanto a la estabilidad del talud, se utilizaron diferentes métodos para estudiarlo: el primero, fue suponiendo una superficie de falla plana, con el método de Culmann. El siguiente, denominado procedimiento de masa considera una superficie de falla circular, donde se analiza la masa de suelo completa. Por último, se trabajó el principio de dovelas, que de igual manera estudia una superficie de falla circular; en él, se utilizaron tres métodos: Fellenius, Bishop y Morgenstern-Price.

Por otro lado, las raíces de la planta son un elemento importante en la estabilidad del talud, ya que estas permiten formar una pared que evita que las laderas propensas a la inestabilidad se desprendan. Para evaluar la contribución mecánica de estas, se realizaron ensayos de tensión y corte a las raíces (ver gráficas 2 y 3). Esto con el fin de comprobar el comportamiento y tendencia de los valores de esfuerzos a corte y tensión con respecto al diámetro de la raíz.

Se realizó un muestreo al azar de cada tramo estudiado para realizar las pruebas, las cuales se pueden ver en las Gráficas 2 y 3. Con base en los datos obtenidos, se encontró el esfuerzo correspondiente. Los valores de tensión y cortante se colocaron en forma gráfica en función del diámetro de las raíces.



Gráfica 3. Ensayo de corte en raíces

Cuadro 1. Factor de seguridad del talud

Muestra	Culmann	Procedimiento de masas	Fellenius	Bishop	Morgenstern-Price
1	3.01	2.30	2.49	2.42	3.51
2	13.55	5.70	5.33	5.73	5.72
3	8.54	4.50	4.18	4.28	4.28
4	6.03	2.40	4.29	4.42	4.41
5	11.50	1.50	3.94	4.11	4.11
6	10.71	5.10	5.30	5.41	5.40

Para conocer el efecto de las raíces de la planta Vetiver en la masa de suelo, se relaciona el esfuerzo cortante del suelo y de las raíces, por unidad de área. Para ello, se utiliza la siguiente expresión:

$$\tau_t = \frac{(\tau_s * A_s) + (\tau_v * A_v)}{A_s + A_v} \quad (2)$$

Donde τ_t es esfuerzo cortante del sistema, τ_s el esfuerzo cortante del suelo, τ_v el esfuerzo cortante de las raíces, A_s el área del suelo y A_v el área de las raíces.

Es importante mencionar que el esfuerzo cortante del suelo se obtuvo de las pruebas realizadas a las muestras de suelo, anteriormente mencionadas. En cuanto a la raíz, los datos se conocen a partir de las pruebas a corte ejecutadas. Cabe destacar que se asumió que alrededor de un 10% del área del suelo está ocupado por las raíces del Vetiver. De igual manera, se calculó el incremento de los esfuerzos cortantes del sistema en base a los resultados obtenidos en el año 2012 y los datos de este año.

Por último, se estudió uno de los factores que afectan la estabilidad de un talud, que es la permeabilidad de los suelos. Esta característica puede afectar la resistencia, ya que el paso de agua a través de la masa de suelo incrementa las presiones de poro y erosión. Para determinar la permeabilidad del suelo que conforma el talud, se realizaron diferentes ensayos; entre ellos, se encuentra el ensayo con permeámetro de carga constante (en laboratorio) y el Slug Test (en campo). Para realizar cada ensayo, se llevó a cabo un muestreo a cada tramo del talud: solo Vetiver, Vetiver con Geomanta y Vetiver con geotextil. Asimismo, cabe destacar que, para obtener un valor más acertado de permeabilidad, se extrajeron muestras antes y después de la época de lluvia, (periodo comprendido por los meses de mayo a julio). Con los datos obtenidos en cada prueba, se calculó el coeficiente de permeabilidad mediante la ley de Darcy. La ecuación utilizada fue la siguiente:

$$k = \frac{V * i}{t * A} \quad (3)$$

Donde k es coeficiente de permeabilidad (cm/seg), V el volumen de agua (cm³), t el tiempo que se acumula el agua (seg), i el gradiente hidráulico y A la sección transversal del filtro (cm²) (Das, 2001).

Resultados

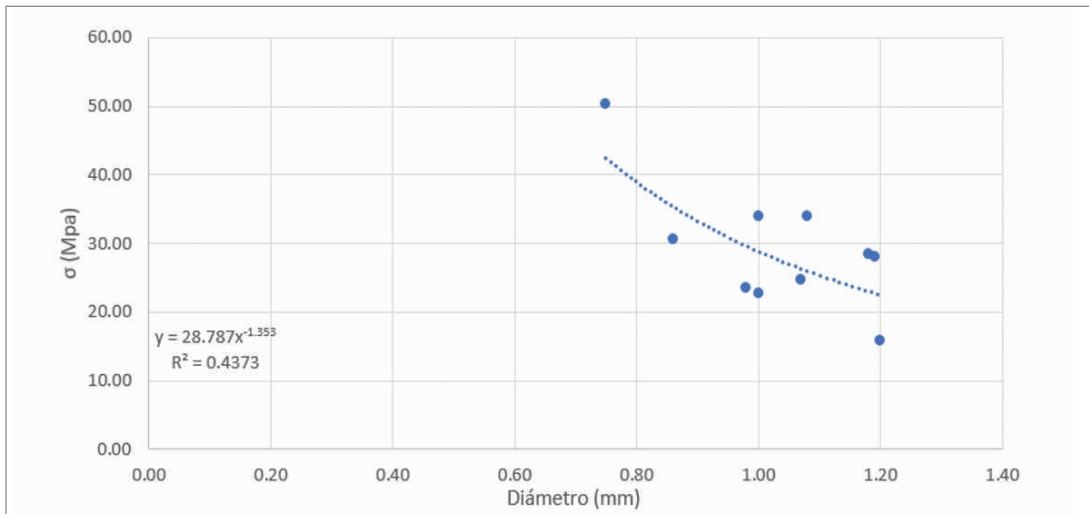
A continuación, se presenta las gráficas de los ensayos a tensión y corte de las raíces para cada uno de los tramos del talud siendo así: solo Sistema Vetiver, con geomanto y geotextil. En las Gráficas 4, 5 y 6, se observa el esfuerzo de tensión vs diámetro.

En las Gráficas 7, 8 y 9, se ilustra el esfuerzo de corte de la raíz de la planta vs su diámetro. En cada una de ellas se incluye la línea de tendencia, su ecuación y coeficiente de correlación.

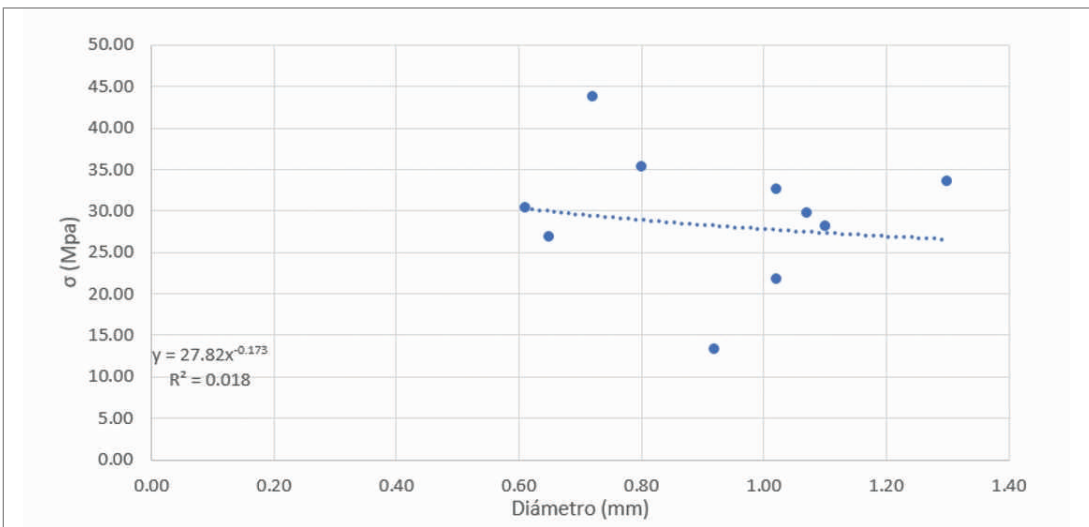
En el Cuadro 1 se presenta el análisis de estabilidad del talud utilizando diferentes métodos siendo: a) procedimiento de masa, Culman, b) análisis de dovelas por Fellenious, c) Bishop, y d) Morgenstern-Price. Para poder llevarlo a cabo, se utilizaron hojas electrónicas Excel y el software Geoslope.

En cuanto al efecto de las raíces de la planta Vetiver en la masa de suelo, se observa en el Cuadro 2 el esfuerzo cortante del sistema del talud. De igual manera, se ve el porcentaje de incremento de los esfuerzos cortantes del sistema entre los años 2012 al 2017.

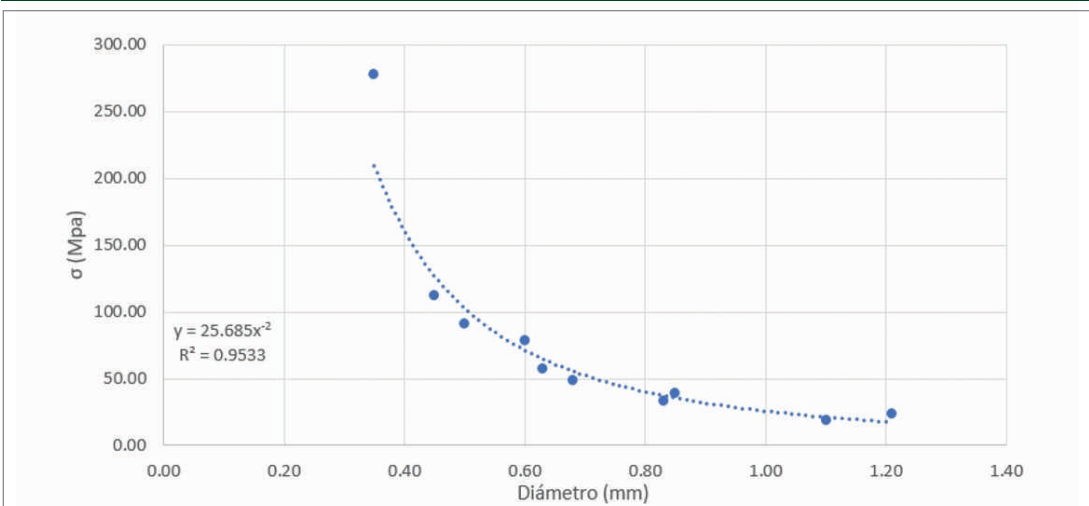
Por último, se presenta en los Cuadros 3, 4 y 5 los resultados obtenidos de los ensayos de permeabilidad. Estos son de las muestras de suelos de cada tramo siendo: Sistema Vetiver, Vetiver



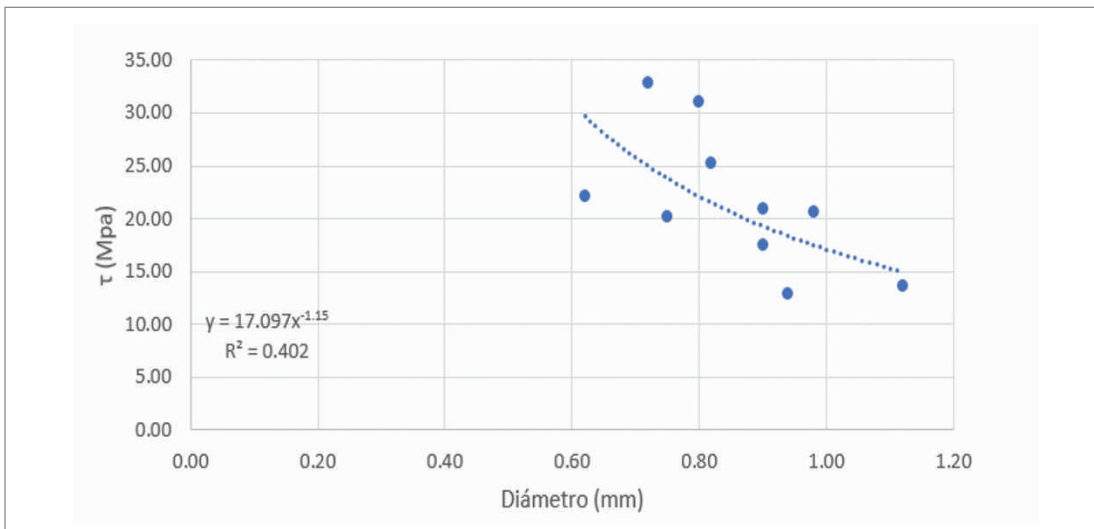
Gráfica 4. Resultados de los esfuerzos de tensión vs diámetro de raíces en tramo de *Sistema Vetiver*



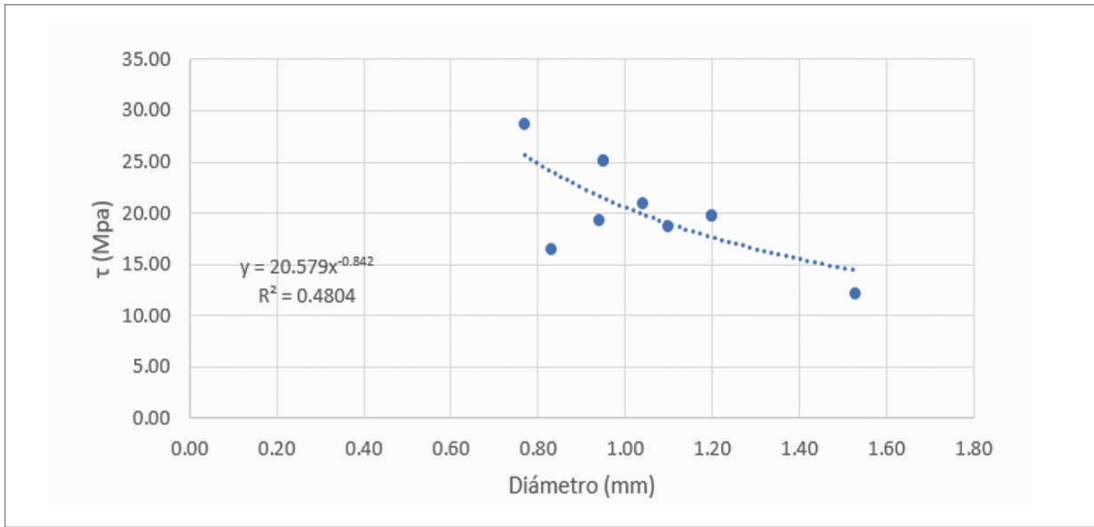
Gráfica 5. Resultados de los esfuerzos de tensión vs diámetro de raíces en tramo de *Sistema Vetiver* con Geomanto



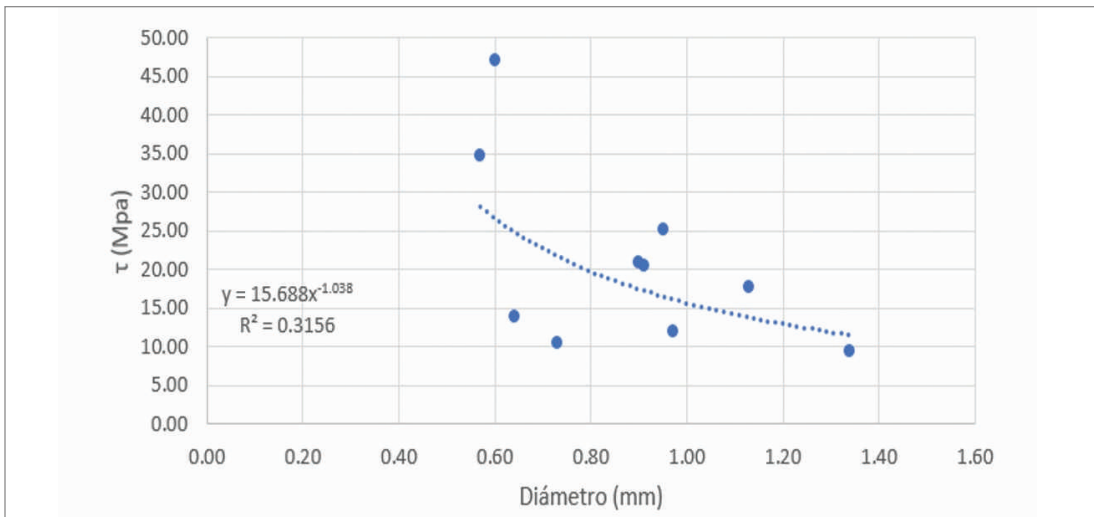
Gráfica 6. Resultados de los esfuerzos de tensión vs diámetro de raíces en tramo de *Sistema Vetiver* con Geotextil



Gráfica 7. Resultados de los esfuerzos de corte vs diámetro de raíces en tramo de Sistema Vetiver



Gráfica 8. Resultados de los esfuerzos de corte vs diámetro de raíces en tramo de Sistema Vetiver con Geomanto



Gráfica 9. Resultados de los esfuerzos de corte vs diámetro de raíces en tramo de Sistema Vetiver con Geotextil

Cuadro 2. Resultado de análisis de resistencia del suelo con el *Sistema Vetiver*

Muestra	Tramo	τ_{suelo} (ton/m ²)	$\tau_{\text{raíz}}$ (Mpa)	τ_{promedio} (ton/m ²)	% de contribución	% de incremento entre 2012-2017
1	Sólo <i>Vetiver</i>	1.51	12.82	0.26	8.30%	7.26%
2	Sólo <i>Vetiver</i>	1.82	32.77	29.68	17.67%	2.64%
3	Geomanto	1.48	12.10	11.03	8.03%	6.42%
4	Geomanto	1.66	28.66	25.96	16.88%	20.27%
5	Geotextil	1.85	47.19	42.66	25.02%	24.07%
6	Geotextil	1.17	9.46	8.63	7.93%	18.68%

Cuadro 3. Resultado de análisis de permeabilidad en tramo de *Sistema Vetiver*

Permeámetro de Carga Constante		Slug Test	
Antes de época de lluvia	Después de época de lluvia	Antes de época de lluvia	Después de época de lluvia
kpromedio (m/s)	kpromedio(m/s)	kpromedio (m/s)	kpromedio (m/s)
1.99E-05	4.74E-05	8.72E-04	1.09E-03
5.83E-05	1.36E-04	1.07E-03	1.09E-03

Cuadro 4. Resultado de análisis de permeabilidad en tramo de *Sistema Vetiver* con Geomanto

Permeámetro de Carga Constante		Slug Test	
Antes de época de lluvia	Después de época de lluvia	Antes de época de lluvia	Después de época de lluvia
kpromedio(m/s)	kpromedio(m/s)	kpromedio(m/s)	kpromedio(m/s)
2.26E-05	7.91E-05	9.45E-04	1.00E-03
5.32E-05	7.67E-05	1.26E-03	1.43E-03

Cuadro 5. Resultado de análisis de permeabilidad en tramo de *Sistema Vetiver* con Geotextil

Permeámetro de Carga Constante		Slug Test	
Antes de época de lluvia	Después de época de lluvia	Antes de época de lluvia	Después de época de lluvia
kpromedio(m/s)	kpromedio(m/s)	kpromedio(m/s)	kpromedio(m/s)
4.06E-05	4.37E-05	1.18E-03	1.30E-03
1.72E-05	2.12E-05	8.78E-04	1.48E-03

Cuadro 6. Resultado de análisis de contenido de humedad

No. Prueba	Tramo	Antes de época de lluvia		Después de época de lluvia		Antes de época de lluvia	Después de época de lluvia
		Peso Seco (kg)	Peso húmedo (kg)	Peso Seco (kg)	Peso húmedo (kg)	% de humedad	% de humedad
1	Solo <i>Vetiver</i>	1.04	1.46	1.18	1.44	40.38%	22.03%
2	Solo <i>Vetiver</i>	1.08	1.48	1.12	1.32	37.04%	17.86%
3	Geomanto	1.12	1.52	1.18	1.54	35.71%	30.51%
4	Geomanto	0.92	1.37	1.04	1.40	48.91%	34.62%
5	Geotextil	1.10	1.49	1.14	1.40	35.45%	22.81%
6	Geotextil	1.00	1.40	1.08	1.40	40.00%	29.63%

con geomanto y *Vetiver* con geotextil; estudiadas tanto en laboratorio como el campo. Además, en el Cuadro 6 se anota el porcentaje de humedad de cada muestra.

Discusión de resultados

Para evaluar la estabilidad del talud, se utilizaron diferentes métodos, tomando en cuenta superficies de falla circulares y rectas. Mediante estos procedimientos, se obtuvo el factor de seguridad general, FSs. Al utilizar el análisis de procedimiento de masas, se obtiene también el esfuerzo cortante que se aplica en el talud, así como el que soporta. Al comparar los diferentes métodos de análisis de estabilidad del talud, se observó que el método de dovelas mostraba mayor precisión, debido a que el mismo analiza la superficie de falla en varios elementos, respetando la geometría del sistema. Es importante mencionar, que se realizó un análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, asumiendo que el perfil es homogéneo.

En los diferentes métodos, se buscó el valor más crítico del factor de seguridad, es decir, el menor de ellos. Observando los resultados obtenidos, los factores de seguridad fueron mayores a 1.5 (valor recomendado), lo que significa que el talud está estable. Además, se nota que ha mejorado de igual manera la resistencia del suelo en los tramos analizados. Hay que tomar en cuenta que los valores también han ido incrementando debido a que las raíces de la planta ya han alcanzado un crecimiento alto a comparación del 2012.

Los resultados obtenidos de los ensayos se limitan al tipo de suelo y geometría del talud estudiado. No es posible generalizar estos resultados para todo tipo de suelo. Cabe destacar las condiciones que ha pasado el talud durante estos años afectando su estabilidad; por ejemplo: las plantas han sido atacadas por animales de la zona; y se han sembrado otras matas de la planta *Vetiver* en los distintos tramos.

Para poder relacionar la estabilidad de talud y el *Sistema Vetiver*, se utilizaron relaciones matemáticas aproximadas y se hicieron suposiciones sobre algunos parámetros, con el fin de encontrar un modelo que describa esta relación. Para cada tramo del talud, se determinó el esfuerzo cortante sobre el talud. Con ello, se observó que la planta *Vetiver* ha mejorado la resistencia del talud, considerando que ha pasado el tiempo suficiente de crecimiento de la planta.

Otro factor que ayuda en la estabilidad del talud es la raíz de la planta del *Vetiver*. Para evaluar la resistencia de ellas, se realizaron ensayos de tensión y corte. En cada uno, se obtuvo una gráfica general de diámetro vs esfuerzo. Se observa que la tendencia potencial es evidente para cada caso. Los valores de R^2 son menores a 1, es decir, que estos son pocos precisos, pero que son comunes en los ensayos de campo.

De igual manera, el crecimiento de las raíces de las plantas de cada tramo se observa que es muy parecido, donde el promedio del diámetro de estas es 0.91 mm y 137.90 mm de longitud. Sin embargo, es importante notar que hay mayor esfuerzo de tensión y corte en aquellas donde el *Sistema Vetiver* se combinó con geomanto y geotextil, observando así que estos materiales tienen influencia en el crecimiento de la planta.

Por otro lado, se encuentra la permeabilidad del talud en los diferentes tramos. Para evaluar este parámetro, se realizaron dos tipos de pruebas: de campo y en laboratorio. El primer análisis, denominado *slug test*, se caracteriza por ser fácil de realizar y tener un bajo costo, sin embargo, es poco confiable y puede dar respuestas erróneas. Esto se debe a que el tiempo de recuperarse es mayor al que se realiza en el laboratorio. Además, existe la posibilidad de incertidumbre de observación al momento de establecer la altura decreciente. En cuanto a los ensayos de laboratorio, estos fueron más precisos debido a que se trabaja a una altura constante con instrumentos que pueden medir con mayor exactitud.

Es importante mencionar que, en el análisis, se estudió el talud cuando está expuesto a la época de lluvia y antes de ella. En ellos, se observa que los coeficientes de permeabilidad aumentan conforme se satura el suelo, siendo durante la época de lluvia. Además, se ve que el de menor valor de coeficiente de permeabilidad es del *Sistema Vetiver* combinado con geotextil. Esto se debe a que, en él, el agua se absorbe de mejor manera. En cambio, el *Sistema Vetiver* combinado con geomanto es el de mayor coeficiente de permeabilidad ya que el agua se acumula más. De igual manera, cabe destacar que los porcentajes de humedad antes de lluvia son altos, esto se debió que en los ensayos se necesitó de mayor contenido de agua ya que la muestra estaba más seca que después de lluvia.

Conclusiones

1. Los valores obtenidos con el análisis por dovelas fueron más semejantes a los reales, ya que en el método se analiza la superficie de falla en varios elementos respetando la geometría del sistema. Asimismo, los factores de seguridad en su mayoría fueron mayores al valor recomendado, demostrando con esto que el talud de estudio es estable.
2. En los resultados, se observó que a menor coeficiente de permeabilidad del suelo mayor fue la estabilidad en el talud. Por lo que el *Sistema Vetiver*, controla el agua de los poros en los suelos.
3. El ensayo de carga constante es más confiable que el de campo denominado *Slug Test* para poder evaluar la permeabilidad del suelo. Esto se debe a que el tiempo de recuperarse es mayor al que se realiza en el laboratorio.

4. Se observó que el geotextil y geomanta a pesar de tener como objetivo controlar la erosión, también colabora con el crecimiento y anclaje de la raíz de la planta al suelo. También, cabe destacar que el de mejor desempeño a lo largo de los años fue el Sistema Vetiver combinado con geotextil, el cual tiene el mayor factor de seguridad, fuerza de tensión y corte. Esto se debe a que retiene mejor los nutrientes y absorbe mejor el agua.

Agradecimiento

Se agradece el apoyo moral y material del Departamento de Ingeniería Civil: Ing. María Fernanda Rivas, Ing. Roberto Godo e Ing. René Keilhauer, por permitirme tomar las muestras de suelo necesarias en el talud de estudio, y a la Constructora Harbor y su laboratorio de suelos, quienes llevaron a cabo los ensayos de laboratorio a las muestras de talud.

Bibliografía

- Angelone, S., Garibay, M., Cauhapé, M. (2006) *Permeabilidad de suelos* (1 ed.) Colombia: Universidad Nacional del Rosario.
- Castro, L. (2013) Vetiver, la barrera contra la erosión. Recuperado el 10 de agosto de 2017, de The Vetiver Network International: http://www.vetiver.org/PUBLICATIONS/TVN_GreenSpan.pdf
- Corzo, C. (2013) Protección de taludes con vegetación. Recuperado el 10 de agosto de 2017, de UMCC: <http://monografias.umcc.cu/monos/2013/Facultad%20de%20Ingenierias/mo13224.pdf>
- Das, B. (2001) *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* México: Thomson Learning, Inc.
- FINE (2012) Morgenstern-Pricev. Recuperado el 7 de Mayo de 2017, de Civil Engineering Software: <http://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/morgenstern-price-01/>
- Hengchaovanich, D. (1998) *Vetiver grass for slope stabilization and erosion control with particular reference to engineering applications* Bangkok, Tailandia: Pacific Rim Vetiver Network Office of the Royal Development Project Board.
- Juárez E, Rico, A. (1987) *Mecánica de Suelos Tomo II*. México DF: Editorial Limusa, S.A.
- Montoya Orozco, A. (2009) *Confiabilidad en la estabilidad de taludes* (Maestro en ingeniería). México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Perea, C., Duran, J. (2012) *Uso del Pasto Vetiver como una Propuesta de Bioingeniería en la Estabilización de Taludes* (Especialista en Ingeniería Ambiental). Universidad Industrial de Santander.
- Rivas, M.D. (2012). *Valor Agregado de Especies Forestales- Gramíneas y su Aplicación en el Entorno* (Licenciados en Ingeniería Civil). Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- Varghese, T. (2014) *Cultivation of Vetiver* (J. Kumar, Ed.) Gujarat, India. Recuperado el 14 de junio de 2017, de Gujarat: http://www.vetiver.org/IND_Vetiver_essential%20oil%20prod%20in%20India.pdf