



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



Quiébranos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia

Patrimonio del Estado Zulia e
interés Cultural desde 2001

Fecha de Construcción:
1954-1958

Diseño: Arquitecto Carlos Raúl
Villanueva, con elementos
novedosos de adaptación
climática.

Policromía de la obra: Artista
Zuliano Víctor Valera.

Study of increment of shear strength in poorly graded sands caused by vetiver plants

Jesús Torres^{1,2} , Roberto Torres^{1,2} , Norly Belandria², Wilmer Barreto^{1,3} , Ricardo Picón^{1,3} , Mariam Peña², Juan Guarache², Luiggi Mendez²

¹Departamento de Obras Civiles y Geología, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Temuco, Temuco 4780000, Chile

²Grupo de Investigaciones en Geología Aplicada, Departamento de Geomecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Mérida 5101, Venezuela.

³Laboratorio de Mecánica Estructural, Departamento de Ingeniería Estructural, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", Barquisimeto 3001, Venezuela.

*Autor contacto: jtorres@uct.cl

<https://doi.org/10.22209/rt.ve2019a14>

Recepción: 20/06/2019 | Aceptación: 03/11/2019 | Publicación: 01/12/2019

Abstract

Lately, the use of the vetiver system in bioengineering has been evidenced, it is use to stabilize slopes and control erosion. Despite the qualities of the root system of vetiver grass, there is still empiricism in the design and implementation, because its mechanical contribution is not perfectly understood. Therefore, it is proposed to determine the increase in resistance to shear stress in poorly graded sands derived from the planting of vetiver grass. The methodology involves performing direct shear tests in the laboratory. For this, in the first instance, a controlled seeding is carried out in containers that minimize the alteration of the sample; from the fourth week, the control and vetiver-soil samples are tested. The results indicate that mechanical parameters increase as root density increases, soil cohesion increases from 460% to 780% and the friction angle, from 4,78% to 12,25%

Keywords: Vetiveria zizanioides; laboratory direct shear test; mohr-coulomb criterion; root area ratio.

Estudio de la variación en la resistencia al esfuerzo cortante en arenas mal gradadas producto de la plantación de vetiver.

Resumen

Últimamente se ha incrementado el uso del sistema vetiver como herramienta de bioingeniería, para estabilizar taludes y controlar la erosión, aunque persiste una carga de empirismo en el diseño e implementación de las soluciones, ya que su aporte mecánico no es perfectamente comprendido a las bondades del sistema radicular del pasto vetiver. Por esto, se plantea determinar el incremento de la resistencia al esfuerzo cortante en arenas mal gradadas derivado de la plantación de esta gramínea. La metodología implica realizar ensayos de corte en el laboratorio, para ello en primera instancia se realiza una siembra controlada en recipientes que minimizan la alteración de la muestra; a partir de la cuarta semana se ensayan las muestras control y suelo-vetiver, a diferentes estadios de tiempo. Los resultados indican que los parámetros mecánicos aumentan a medida que varía la densidad de raíces, la cohesión del suelo incrementa desde 460% hasta 780% y, el ángulo de fricción desde 4,78% to 12,25%.

Palabras claves: Vetiveria zizanioides; ensayo de corte directo en laboratorio; criterio de rotura Mohr-Coulomb; relación de área de raíz

Introducción

En los últimos años, la necesidad de encontrar soluciones sustentables a los problemas de control de erosión e inestabilidades en taludes de suelo, ha generado un desarrollo interesante en técnicas de bioingeniería. Dentro de estos enfoques no tradicionales, destaca el uso del Pasto Vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash, o *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) por las características de su sistema radicular.

El vetiver es una gramínea nativa de países asiáticos y se caracteriza por tener un sistema radicular resistente, que alcanza grandes profundidades [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Las características de estas raíces han permitido que se proponga como una alternativa de estabilización para inestabilidades poco profundas [7, 8, 9, 10, 11, 12]. Sin embargo, aún persiste una cierta carga de empirismo en los diseños de estabilidad, por ello se ha tratado de cuantificar el incremento en la resistencia que estas fibras le incorporan al suelo. Destacan los estudios de Wu et al [13], Waldron [14] quienes consideraron que variaciones en la resistencia del suelo son producto de la resistencia a la tracción, una relación de área de raíces (RAR, por su acrónimo en inglés *Root Area Ratio* [15]) y un factor de distorsión geométrica. Este modelo ha sido revisado por Bischetti et al [16]; Mickovski y van Beek [17]; De Baets et al [18]; Gray y Baker [19], tras lo cual actualmente, se proponen tres respuestas diferentes durante el corte de un suelo reforzado con raíces, denominados rotura, estiramiento "stretching" o deslizamiento [19].

Son múltiples los estudios que han evaluado el incremento en la resistencia en los suelos por efecto de la vegetación [4, 20, 21, 12, 13, 14, 17, 18, 22], variando el ensayo utilizado, tamaño de la muestra y especies plantadas. En general, se asocia esta variación de resistencia a incrementos en la cohesión del material [10, 23, 24], estando este directamente relacionado al RAR [17, 23].

En base a lo anterior, se plantea determinar el incremento de la resistencia al esfuerzo cortante de una arena limpia, producto de la plantación de pasto vetiver, para establecer si efectivamente la variación está asociada a la cohesión del material y si existe correlación con la cantidad de raíces presentes. Este análisis se hace bajo condiciones controladas de laboratorio para prevenir efectos indeseados propios de la variabilidad de suelos en estado natural.

Materiales y Métodos

En función del objetivo de la investigación, resulta fundamental controlar la mayor cantidad de parámetros para disminuir las variaciones asociadas a crecimiento y desarrollo del sistema radicular. Por lo

tanto, se hace necesario realizar una búsqueda exhaustiva de información documental sobre los ensayos de corte realizados en suelos con raíces de distintas especies, haciendo especial atención hacia la gramínea en estudio, así como las características de crecimiento, desarrollo y otras propiedades del pasto y su sistema radicular.

Considerando la escasa cohesión que presenta el material, se requirió la elaboración de una serie de recipientes, de idénticas dimensiones a la caja de corte, para minimizar las perturbaciones en la muestra a ensayar. Estos contenedores fueron realizados en vidrio para observar el crecimiento de la raíz y controlar la humedad del suelo, entre otras variables (Figura 1).

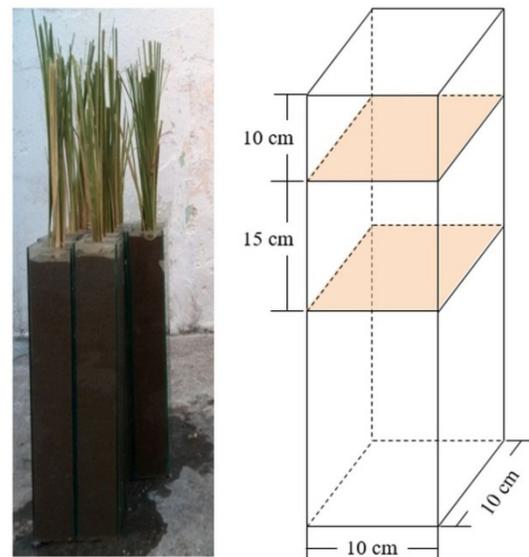


Figura 1. Recipientes y esquema de muestreo para corte a profundidades de 10 y 25 cm.

Se realizan ensayos granulométricos (ASTM D422) y límites de consistencia (ASTM D4318), peso específico relativo de los sólidos (ASTM D854), se determina la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo (ASTM D1557) del suelo a utilizar para definir el peso específico de siembra.

Para la plantación de la gramínea se seleccionan plantas con al menos tres hojas bien desarrolladas, disponiendo el mismo número de especies para cada recipiente, a los mismos se les registra el número de raíces, sus diámetros y longitudes para establecer el registro original.

Se compacta el suelo a la densidad máxima y el contenido de humedad óptimo, para minimizar la dispersión de los datos y se introducen los vástagos con características similares en los recipientes. Se exige un grado de compactación superior al 90% y tripletas de recipientes con parámetros de siembra lo más similar

posible.

Una vez establecidas las gramíneas, se le cortan las hojas para favorecer el desarrollo de sus raíces ([25], Figura 1). Durante el periodo de crecimiento de la planta, las muestras son sometidas a un control constante, minimizando las variables de luz y humedad del suelo.

Las pruebas de corte directo para el sistema suelo - raíces de vetiver, comienzan a efectuarse a partir de la cuarta semana de siembra con una frecuencia semanal hasta la octava semana. Se realizan ensayos no consolidados - no drenados, a profundidades de 10 y 25 cm del inicio de las raíces (Figuras 1 y 2). Las cajas de corte utilizadas, eran cuadradas de área 100 cm² y 4 cm de alto. Se utilizó un aparato de corte de deformación controlada con una velocidad de desplazamiento de 1 mm/min.

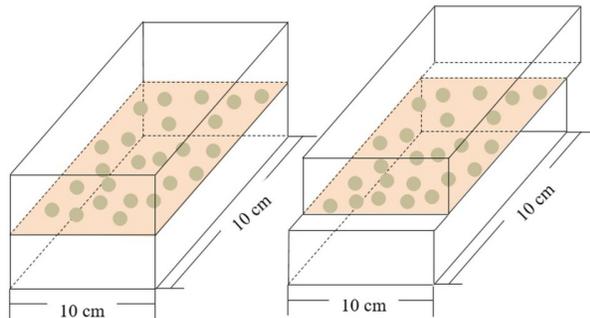


Figura 2. Esquema del ensayo de corte directo para el sistema Suelo - Raíz ensayado.

Al culminar cada ensayo para los suelos plantados, se determina el contenido de humedad y se observan las características de las raíces como desplazamientos, elongaciones y los ángulos de distorsión de la fibra respecto al plano de cizalla; así como la relación del área total transversal de las raíces entre el área total de corte de cada muestra (RAR, Ec. 1). Se define RAR al momento de siembra (RAR_i), previo al ensayo (RAR) y su variación porcentual (ΔRAR[%], Ec. 2).

$$RAR = \frac{A_{raiz}}{A_{corte}} \quad (1)$$

$$\Delta RAR(\%) = \frac{RAR - RAR_i}{RAR_i} \cdot 100 \quad (2)$$

Posteriormente se replican las características del suelo (densidad, contenido de humedad) para realizar los ensayos control (suelo sin raíz). Finalmente, se analizan comparativamente los resultados obtenidos, correlacionando las variaciones en la resistencia con parámetros asociados a la cantidad de raíces presentes, específicamente RAR y ΔRAR(%).

Resultados y Discusión

Para un mejor desarrollo se presentan estos en tres grupos: clasificación de suelos y propiedades de siembra, ensayos de corte directo y por último relación entre RAR y los incrementos.

Clasificación y parámetros de siembra.

La muestra ensayada fue clasificada como arena mal gradada, SP, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), con un 97,08% de partículas tamaño arena, 2,38% de finos y tan solo 0,54% de gravas (Tabla 1). El peso específico relativo de los sólidos fue 2,63 y la densidad máxima seca obtenida del Proctor modificado fue 1,75 g/cm³.

Tabla 1. Datos granulométricos y clasificación según el SUCS.

Grava (%)	Arenas (%)	Finos (%)	Cu	Cc	Clasificación SUCS
0,54	97,08	2,38	3,06	0,9	SP

Ensayos de corte directo.

En los ensayos de corte directo, se requiere un exhaustivo control de las variables que influyen, en mayor medida, sobre la resistencia de los suelos (densidad, contenido de humedad). Por ello, estos parámetros fueron verificados en cada ensayo. Los pesos específicos secos del suelo control oscilaron entre 1,604 g/cm³ y 1,628 g/cm³, con una media de 1,619 g/cm³. Los contenidos de humedad variaron entre 12% y 16%, con una media de 13,67%.

Por su parte, los suelos con vetiver tuvieron una densidad que osciló entre 1,605 g/cm³ y 1,627 g/cm³, con una media de 1,619 g/cm³, mientras que los contenidos de humedad estuvieron entre 12,08% y 16,28%, para una media de 13,84% (Tabla 2).

Se enfatiza la mínima diferencia que existió entre las muestras de suelo control y suelo-vetiver ensayadas para cada semana; se registró una diferencia máxima de 0,003 g/cm³ para la densidad y 0,28% en el contenido de humedad.

Los resultados de estos ensayos (Tabla 2) muestran que el suelo control tiene en promedio una cohesión de 0,0083 kg/cm² y un ángulo de fricción interna de 29,108°. El sistema suelo-vetiver, exhibe un incremento significativo en sus propiedades, variando desde 0,0488 kg/cm² y 30,811° hasta 0,0697 kg/cm² y 32,309°, para los periodos de tiempo considerados (Tabla 3).

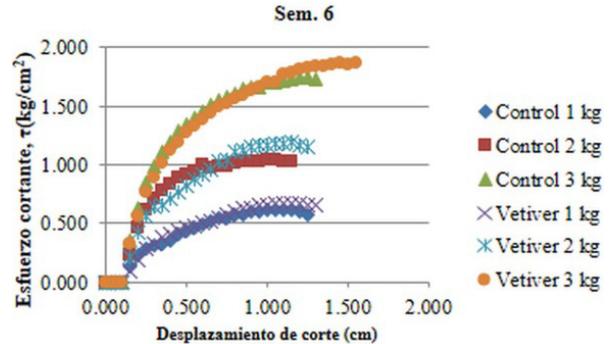
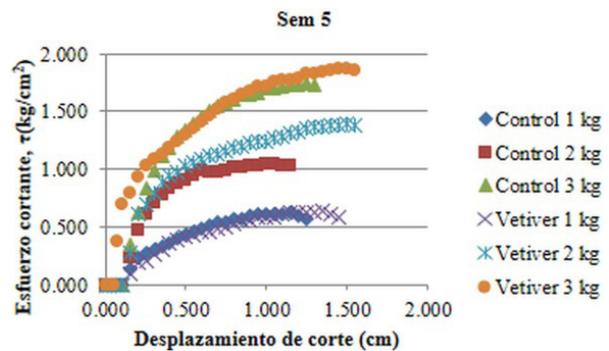
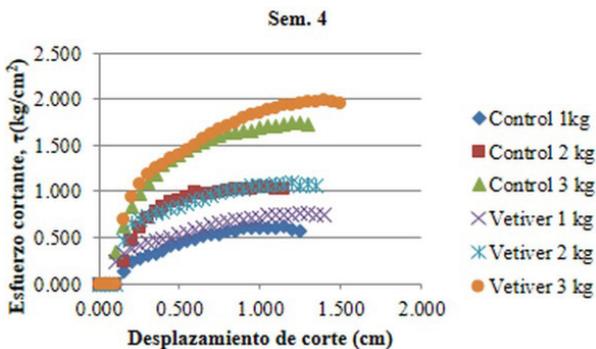
Tabla 2. Cohesión y Ángulo de Fricción Interna para muestras de suelo control y suelo-vetiver

Tiempo (sem.)	Suelo Control					Suelo-Vetiver				Variación	
	γ_d (g/cm ³)	ω (%)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	Prof. (cm)	γ_d (g/cm ³)	ω (%)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	ΔC (kg/cm ²)	$\Delta\phi$ (°)
4	1,628	12,00	0,0087	29,41	10	1,625	12,08	0,0505	31,55	0,0418	2,149
5	1,628	12,00	0,0087	29,41	10	1,627	12,13	0,0566	31,90	0,0479	2,493
6	1,624	13,00	0,0081	29,27	25	1,623	13,09	0,0488	30,81	0,0401	1,406
7	1,624	13,00	0,0081	29,27	25	1,624	13,26	0,0549	31,19	0,0462	1,785
8a	1,604	16,00	0,0079	28,18	10	1,607	16,17	0,0697	32,31	0,0618	3,525
8b					25	1,605	16,28	0,0610	31,33	0,0531	2,545
Media	1,619	13,67	0,0083	29,11	-	1,619	13,84	-	-	-	-
Desv. Est.	0,011	1,75	0,0004	0,523	-	0,009	1,81	-	-	-	-

Tabla 3. Variación temporal de cohesión, ángulo de fricción interna y parámetros de raíces.

Tiempo (sem.)	Prof. (cm)	ΔC (kg/cm ²)	$\Delta\phi$ (°)	RAR prom. (m ² /m ²)	Δ raíces prom (%)	ΔC (%)	$\Delta\phi$ (%)	ΔRAR prom. (%)
4	10	0,0418	2,148	0,0034	26,67	480,46	7,31	16,88
5	10	0,0479	2,492	0,0034	40,00	550,57	8,48	45,32
6	25	0,0401	1,406	0,0042	24,44	460,91	4,78	11,40
7	25	0,0462	1,785	0,0046	62,22	531,03	6,07	36,10
8a	10	0,0618	3,525	0,0073	146,67	782,28	12,25	117,49
8b	25	0,0531	2,544	0,0071	102,22	672,15	8,84	86,84

El ensayo se detuvo al observar al menos cinco lecturas constantes y una caída en el dinamómetro, no obstante la curva desplazamiento cortante - esfuerzo de corte señala que el sistema puede que no haya alcanzado aún su carga máxima (Figura 3), debido a que sólo se observaron desgarros de la corteza superficial, elongaciones y distorsiones en las raíces, coincidiendo con las observaciones de Goldsmith [24]. Esto es importante, ya que de entrada permite establecer que el mecanismo de rotura para este caso podría ser estiramiento o deslizamiento de raíces [19].



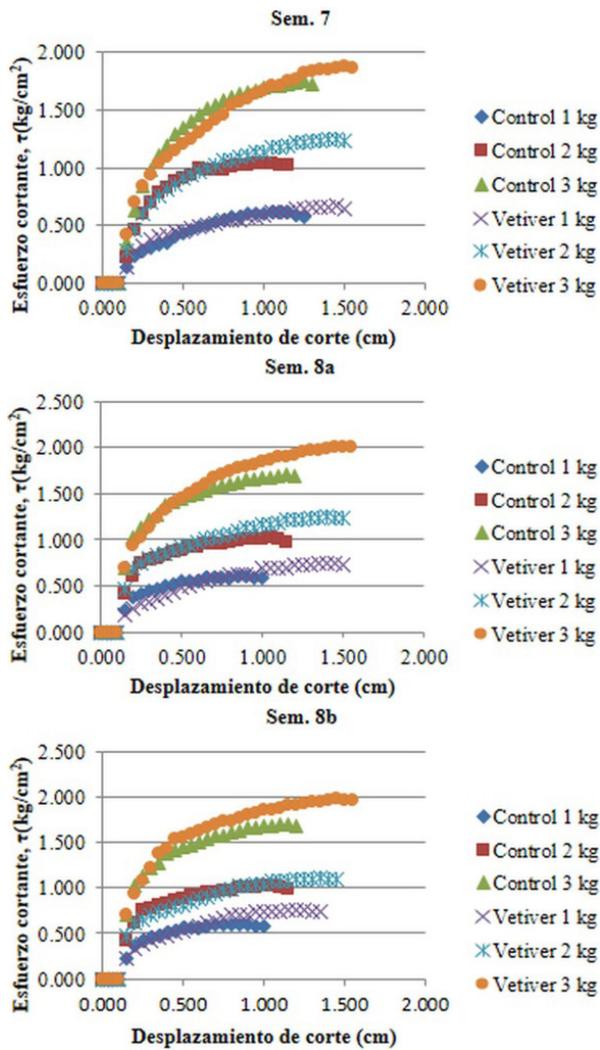


Figura 3. Desplazamientos de corte y esfuerzos cortantes para cada muestra ensayada

En la figura 4, se presentan las envolventes de falla según el criterio Mohr-Coulomb tanto para el suelo control y sistema Suelo-Vetiver. En ella es posible identificar que existe un incremento en los parámetros cohesión y ángulo de fricción, lo que difiere a lo postulado por Ali y Osman [10], Dauvodi [23], Goldsmith [24].

Incremento en la resistencia al cortante y su relación con el RAR.

Para las muestras analizadas los diámetros de las raíces varían entre 0,5 y 2,2 mm. Se observa, para la misma profundidad, un incremento tanto en el parámetro RAR como en el número de raíces conforme se incrementa el tiempo.

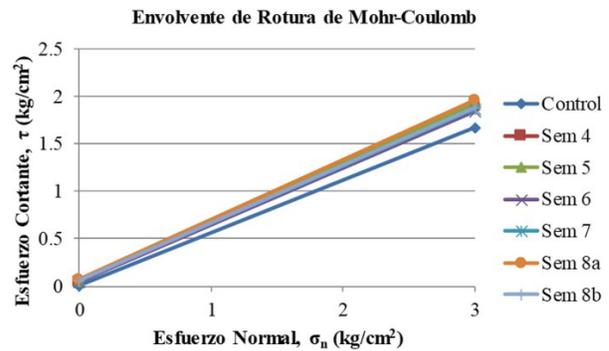


Figura 4. Envolventes de roturas a distintas edades y profundidades para el suelo control y suelo con vetiver.

Cuando se representan la variación de la cohesión y del ángulo de fricción interna, en función del RAR (Figura 5 a), se observa que estos parámetros se incrementan de forma lineal conforme aumenta la densidad de raíces, siendo necesarios estudios adicionales para definir completamente el comportamiento. Existe un aparente paralelismo entre las diferentes profundidades; no obstante, si se analiza el ΔRAR porcentual, esta dispersión se acota y para el caso de la cohesión se presenta un ajuste lineal.

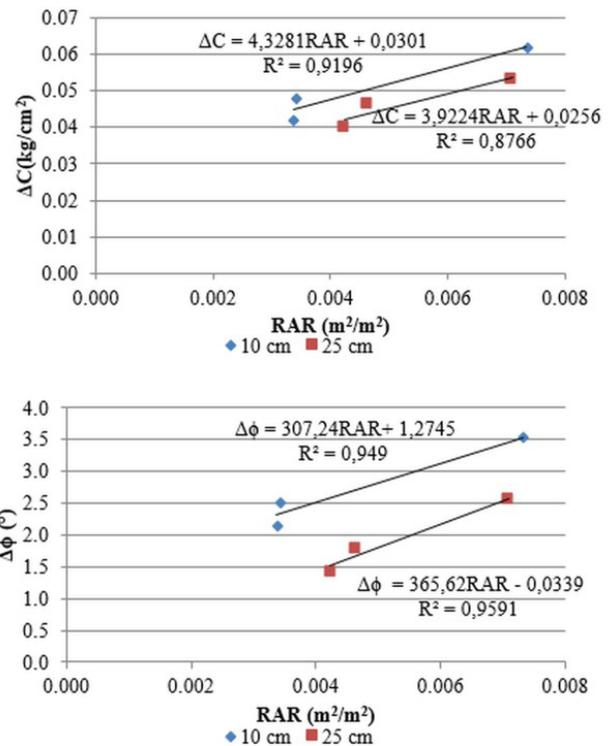


Figura 5 a. Variación de la cohesión y ángulo de fricción interna respecto al RAR, adimensional y porcentual.

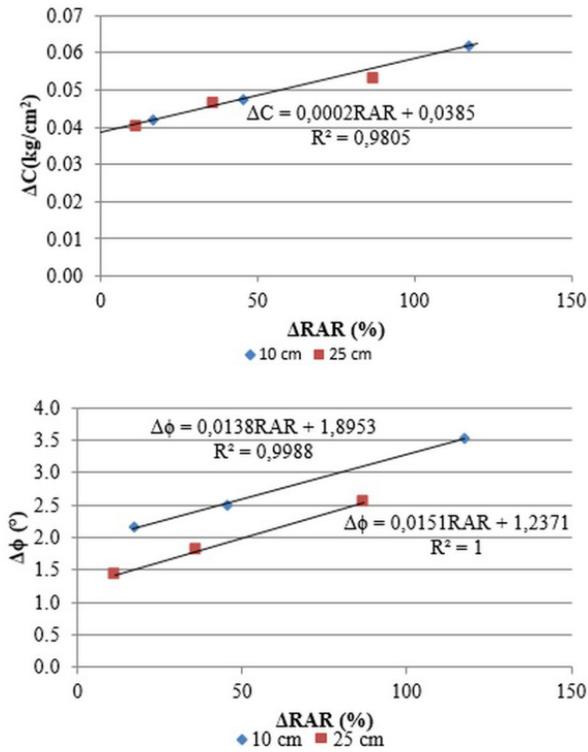


Figura 5 b. Variación de la cohesión y ángulo de fricción interna respecto al RAR, adimensional y porcentual.

Analizando las variaciones absolutas y porcentuales de los parámetros resistentes (Tabla 3 y Figura 5 b) se identifica un incremento desde 0,0401 kg/cm² (460%) hasta 0,0618 kg/cm² (782,28%) para la cohesión y 1,406 (4,78%) hasta 3,525° (12,25%) para la fricción, destacando que estos se relacionan de forma lineal (Figura 6).

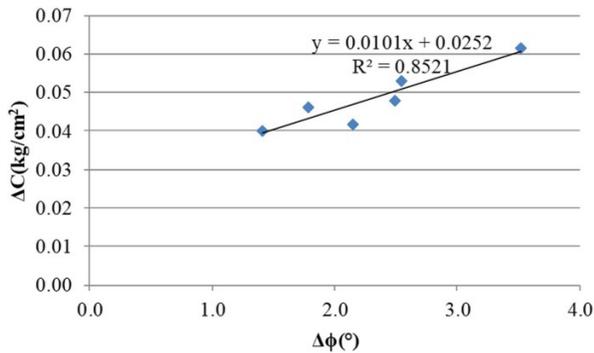


Figura 6. Relación entre la variación de la cohesión y ángulo de fricción interna.

Igualmente, se percibe que la variación del último es baja, en relación al cambio porcentual que presenta la

cohesión (Figura 7), esto coincide con lo reportado por los autores previos, salvo por el incremento en el ángulo de fricción interna.

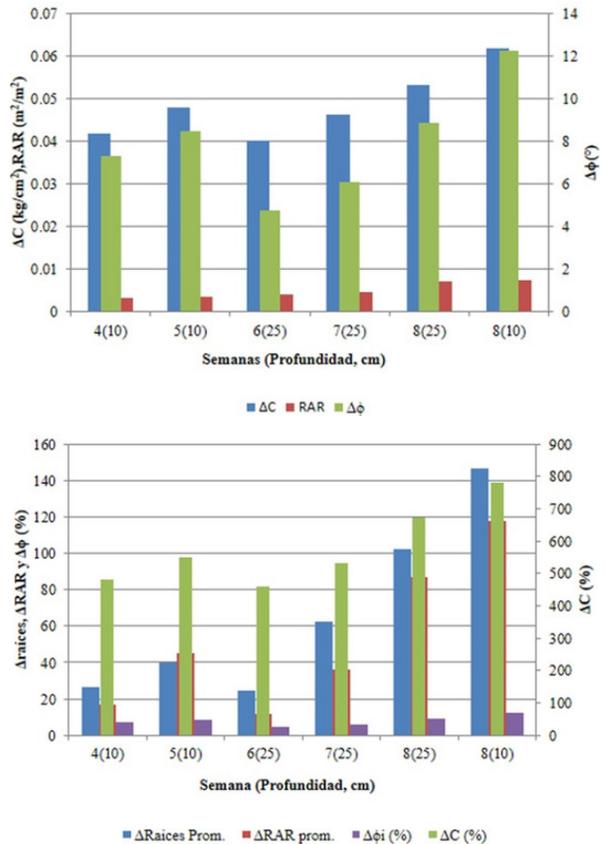
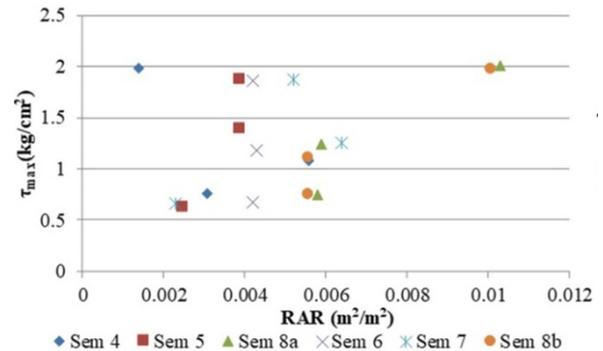


Figura 7. Variaciones de cohesión, fricción, raíces y RAR por semana y profundidad

Por último, cuando se analiza el máximo esfuerzo cortante o su incremento respecto al suelo control y el RAR (Figura 8) no se aprecia una relación lineal entre estas variables, lo que contrasta con lo indicado por Mickovski y van Beek [17].



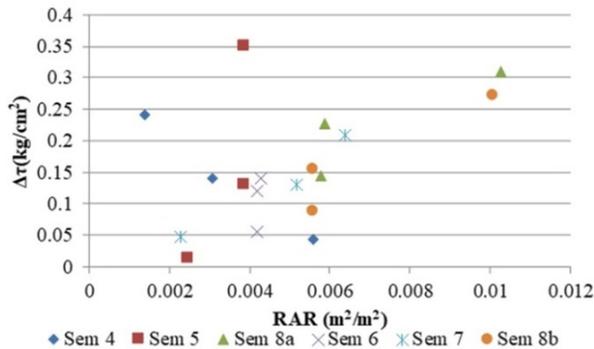


Figura 8. Relación del esfuerzo cortante máximo (τ_{\max} , kg/cm²) y su variación ($\Delta\tau$, kg/cm²) con el RAR (m²/m²).

Conclusiones

Los resultados muestran que el desarrollo del sistema radicular del pasto vetiver aumenta considerablemente la resistencia al corte, este incremento se ve reflejado tanto en la cohesión como en el ángulo de fricción interna.

La variación de cohesión se encuentra entre 0,0401 kg/cm² (460%) y 0,0618 kg/cm² (782,28%), por su parte para el ángulo de fricción interna los incrementos oscilan entre 1,406 (4,78%) y 3,525° (12,25%). Resulta evidente que en suelos granulares, los mayores aumentos se generan en la cohesión, pese a esto, una variación superior a 3° en la fricción de un material granular no es una cantidad despreciable.

Los incrementos en las propiedades resistentes de un suelo, guardan una estrecha relación con la cantidad de raíces presentes en el plano de falla. Es difícil asegurar que la resistencia medida corresponde a la resistencia máxima ya que sólo se apreciaron desgarros y deslizamientos en las raíces.

El desarrollo del sistema radicular presenta un incremento máximo de 146,67% en la octava semana de desarrollo respecto al número de raíces y el RAR tuvo una variación máxima de 117,49%.

Existe una dispersión entre las profundidades, al momento de relacionar las variaciones en los parámetros de resistencia al corte de un suelo y el parámetro RAR, no obstante esta se minimiza al compararlo con el incremento porcentual de este parámetro. Resulta interesante que pese a la existencia de una correlación entre los parámetros de resistencia al corte con el RAR, esta no se ve reflejada en el esfuerzo cortante máximo o la variación en el cortante máximo.

En general se sugiere realizar esta metodología, con un número mayor de ensayos, en diferentes tipos de suelo y estadios de crecimiento de la planta, para

evaluar si las tendencias aquí presentadas se mantienen. Igualmente se debe verificar si los modelos de resistencia al corte propuestos para suelos con raíces se adecuan a los resultados obtenidos en esta investigación.

Agradecimientos

Se agradece toda la colaboración del personal del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Universidad de Los Andes en la realización de los ensayos asociados a la investigación.

Referencias Bibliográficas

- [1] Truong P.N.: Vetiver grass technology for land stabilization, erosion and sediment control in the Asia Pacific region. Proc. of First Asia Pacific Conf. on Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilization, Manila (1999) 72-84.
- [2] Ke C., Feng Z., Wu X., y Tu F.: Design principles and engineering samples of applying vetiver ecoengineering technology for steep slope and riverbank stabilization. Proc 3rd Int. Vetiver Conf., Guangzhou (2003) 365-374.
- [3] Smyle J.: Experiencia mundial con el uso del vetiver para infraestructura, cuenca y uso en la Finca. Memorias de Taller de Bioingeniería para la infraestructura Port Mitch, El Salvador (1999).
- [4] Hengchaovanich D. y Nilaweera, N.S.: An assessment of strength properties of vetiver grass roots in relation to slope stabilization. Proc. of the 1st Int. Conf. on Vetiver, Chain Rai (1996) 153-158.
- [5] Méndez L., Rojas W., Torres J., Torres R., Rada M. y Calderas R.: Resistencia a la tracción del sistema radicular del vetiver (*Vetiveria zizanioides*) plantado en un suelo granular. Geominas, Vol. 42, N°64 (2014) 165-169.
- [6] Noorasyikin M.N. y Zainab M.: A tensile strength of bermuda grass and vetiver grass in terms of root reinforcement ability toward soil slope stabilization. IOP Conf. Series Mater. Sci. and Eng., Vol 136 (2015) 1-8.
- [7] World Bank: Vetiver Grass - The Hedge Against Erosion, World Bank, Washington DC, 1990.
- [8] Hengchaovanich D.: Fifteen years of bioengineering in the wet tropics: from A (*Acacia auriculiformis*) to V (*Vetiveria zizanioides*). Proc. First Asia Pacific Conference on Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilization, Manila (1999) 54-63.
- [9] Cheng H., Yang X., Liu A., Fu H. y Wan M.: A study

- on the performance and mechanism of soil reinforcement by herb root system. Proc. of 3rd Int. Vetiver Conf., Guangzhou (2003) 403-410.
- [10] Ali F. y Osman N.: Shear strength of a soil containing vegetation roots, Soils and Foundations, Vol. 48, N°4 (2008) 587-596.
- [11] Wu T.H.: Slope stabilization. In: R.P. C. Morgan y R.J. Rickson (ed) Slope Stabilization and Erosion Control. E& FN Spon, Londres, 1995.
- [12] Wu T.H. y Watson A.: In situ shear tests of soil blocks with roots. Can. Geotech. J., Vol 35, N°4 (1998) 579-590.
- [13] Wu T.H., McOmber R.M., Erb R.T. y Beal B.E.: A study of soil root interaction. J. Geotech. Eng. ASCE, Vol 114, N°12 (1988) 1351-1375.
- [14] Waldron L.J. y Dakessian S.: Soil reinforcement by roots: calculation of increased shear resistance from root properties. Soil Sci., Vol 132 N°6 (1981) 427-435.
- [15] Burroughs E.R. y Thomas B.R.: Declining root strength in Douglas-fir after felling as a factor in slope stability. USDA Forest Service Research Paper INT, 190 (1977) 27.
- [16] Bischetti G.B., Bonfanti F. y Greppi M. Misura della resistenza alla trazione delle radici: Apparato sperimentale e metodologia d'analisi. Quaderni di Idronomia Montana, Vol 21 (2003) 349-360.
- [17] Mickovski S.B. y van Beek, L.P.H.: Root morphology and effects on soil reinforcement and slope stability of young vetiver (*Vetiveria zizanioides*) plants grown in semi-arid climate. Plant Soil, Vol. 324 N°1 (2009) 43-56.
- [18] De Baets S., Poesen J., Reubens B., Wemans K., De Baerdemaeker J. y Muys B.: Root tensile strength and root distribution of typical Mediterranean plant species and their contribution to soil shear strength. Plant Soil, Vol 305 N°1-2 (2008) 207-226.
- [19] Gray D.H., and Barker D.: Root-Soil Mechanics and Interactions. In: S.J. Bennett y A. Simon (ed), Riparian Vegetation and Fluvial Geomorphology. American Geophysical Union, Washington, DC (2004), 113-123
- [20] Ziemer R.R.: Roots and the stability of forested slopes. In: T. Davies y A. Pearce (ed), Erosion and sediment transport in Pacific Rim steeplands. Int. Assoc. Hydrol. Sci. Publ., Vol 132, New Zealand (1981), 343-361.
- [21] Nilaweera N.S.: Effects of tree roots on slope stability the case of Khao Luang Mountain area, southern Thailand. Bangkok, 1994.
- [22] Van Man T.: Slope Stabilization and the Shear Strength improvement of Soil by Vetiver, Construcction Advanced Technology, Vietnam Vetiver Network, Vietnam, 2012.
- [23] Davoudi M.H. Influence of Willow Root Density on Shear Resistance Parameters in Fine Grain Soils using in situ Direct Shear Tests. Research Journal of Environmental Sciences, Vol. 5, N°2 (2011) 157-170.
- [24] Goldsmith W.: Soil Strength Reinforcement by Plants, The Bioingeniering Group Inc., Salem, 2006.
- [25] Troung P., Van T.T. y Pinnars E.: Vetiver system applications, Technical Reference Manual, Vetiver Network, 2008.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Volumen Especial, 2019, No. 1, pp. 154 - 262 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Diciembre de 2019, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
www.produccioncientificaluz.org