

04-004

Application of Vetiveria zizanoides to diminish the erosion in Guatemala

Flor De Mayo González-Miranda¹; Eduardo Garzón Garzón²; Juan Reza²; Pedro José Sánchez-Soto³

¹Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial - Facultad de Ingeniería - Universidad de San Carlos de Guatemala; ²Universidad de Almería; ³Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla

It is presented a research work performed in a plantation of Vetiveria in ground slopes to diminish the erosion provoked by the rains. For this purpose, the material used in the plots with cultures and without them has been characterized by determining the pore size and surface area, using gas adsorption (Nitrogen), thermogravimetric and infiltration.

It was observed that the weight losses after heating at 1000°C are lower in the plot with culture. The specific surface area of the soil range between 11.68-15.5m²/g. With the plantation, the differences are least between natural samples and those thermally treated at 500°C. Besides this, the soil in natural state has an average pore size between 17.39-160nm. However, with the plantation the larger part of the pores are between 20-100nm and after heating, the pores density increases in this range. This fact produces that the soil be practically impermeable. Similarly, the accumulated specific surface area was higher in the desorption phase and the values found when the sample was heated at 500°C were lower. These sharp differences with the thermal treatment will disappear with the culture. Finally, the infiltration rate was lower at the first minutes because the rain was retained in the leaves.

Keywords: Vetiveria; erosion; porosity; infiltration

Uso de vetivería zizanoides para disminuir la erosión en Guatemala

Se presenta un trabajo de investigación realizado con la plantación de Vetiveria en taludes de tierras, con el objeto de disminuir la erosión provocada por las lluvias torrenciales. Para ello se ha caracterizado el espacio poroso por absorción de gas nitrógeno, un análisis termogravimétrico y de infiltración en parcelas sin cultivo y plantadas.

Se observa que las pérdidas de peso por calentamiento a 1000°C fueron menores en la parcela cultivada. La superficie específica del suelo está entre 11,68-15,5 m²/g y con la plantación las diferencias son mínimas entre muestras naturales y tratadas a 500°C. Además, el suelo en su estado natural tiene un tamaño de poro predominante entre 17,39-160nm. Sin embargo con la plantación la mayor parte de los poros están entre 20-100nm, al calentar aumenta la densidad de poros en ese rango. Esto hace que se convierta en prácticamente impermeable. Igualmente, la superficie específica acumulada fue mayor en la fase de desorción y los valores registrados cuando se calienta a 500°C fueron mucho más bajos. Estas diferencias tan bruscas con el tratamiento térmico, desaparecerán con el cultivo. Por último la velocidad de infiltración es mucho menor en los primeros minutos, ya que la lluvia queda retenida en las hojas.

Palabras clave: Vetiveria; erosión; porosidad; infiltración

Correspondencia: Eduardo Garzón email: egarzon@ual.es



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

1. Introducción

La aplicación de 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). En este sentido se han utilizado varias plantas para proteger taludes de tierras en Guatemala como: pasto Estrella (*Cynodon Plectortactum*) y Mombasa (*Panicum Maximum*), para evitar la erosión hídrica (González-Miranda & Garzón 2014).

También en otros países latinoamericanos se ha empleado pastos vetiver, maní forrajero (Rivera-Posada & Sinisterra-Reyes 2005), bambú (guadua) y árboles nativos con raíces cohesivas para disminuir la erosión, ya que en algunas zonas los promedios anuales de lluvia están entre 1.000 a 3.000 milímetros, y con el cuarenta por ciento de las lluvias con una intensidad superior a 25 mm/hora.

Igualmente los pastos de Vetiver (*Vetiver zizanioides*) fueron usados en la mejora de suelos contaminados por metales pesados en la India (Sinha et al. 2005; Srivastava et al. 2008), Tailandia (Rotkittkhun et al. 2007), en suelos afectados por la actividad minera en China, aplicando diferentes tratamientos de fertilización (Yang et al. 2005). Sobre este punto, Danh, et al. (2009) observaron que había otras especies más eficaces en la acumulación de metales pesados, pero éstas tenían la capacidad de progresar en condiciones extremas y era bastante eficiente en la biodegradación de la basura orgánica. Además Wilde, et al. (2005) observaron que la fertilización del cultivo de Vetiver mejoraba la extracción de metales pesados del suelo.

También Demirel & Demirel (2005) y Robles-Austriaco (2012) observaron que reducía la erosión en suelos de Turquía y Filipinas. Sobre este tema Grimshaw & Helfer (1995) realizaron una revisión acerca del uso de esta planta para reducir la erosión y Srivastava et al. (2014) estudiaron además los efectos sobre suelos afectados por la actividad minera. En relación a esto Mckovski & van Beek (2009) han suplementado un trabajo sobre el uso de Vetiver para reducir la contaminación y disminuir la erosión. Este último aspecto lo han estudiado viendo como evolucionan los parámetros de cohesión y rozamiento interno a lo largo del tiempo. Otros trabajos abordan las condiciones de desarrollo de Vetiver (Sinha et al. 2005 y Mckovski & van Beek 2009) o su uso en alimentación y cosmética, junto a sus efectos para prevenir la erosión y mejorar los suelos contaminados por metales pesados (Chou et al. 2015). De la misma forma se han usado técnicas novedosas, como elementos finitos, para ver cómo evoluciona la resistencia al corte de un suelo con el desarrollo de Vetiver, considerando el modelo elástico-plástico (Islam & Shahin 2013). O la monitorización del desarrollo de esta planta en un talud de tierras de Filipinas, lo que permitió ver que la planta tiene capacidad de agregación (Balangood et al. 2015). En función de lo anteriormente expuesto, se hace necesario estudiar los efectos de *Vetiveria Zizanioides* sobre la distribución de poros del suelo, así como sobre la infiltración en taludes de tierras de Guatemala.

2. Material y métodos

Se ha llevado a cabo la siembra de *Vetiveria Zizanioides* sobre un suelo caracterizado a lo largo del tiempo por análisis termogravimétricos realizados a muestras de suelo natural y plantado, para determinar la pérdida de peso (porcentaje en peso) de muestra media, secada previamente al aire a la temperatura del laboratorio, después a 110 °C durante 24 horas en estufa. Esta misma muestra, se trató posteriormente a 500 °C durante 1 hora en Horno de laboratorio HOBERSAL, al aire, empleando crisol de porcelana. La pérdida total de

peso a 1000°C durante 1 hora se realizó en el mismo horno al aire, empleando en muestra previamente secada a 110 °C/24h.

También se realizó fisisorción a dos muestras de suelos (DVH2 y HSF) sin sembrar, a una muestra con cultivo y a las mismas muestras tratadas a 500 °C durante 1 hora. El equipo utilizado fue un Micromeritics-ASAP 2010. La superficie específica fue estimada por los métodos de Brunauer, Emmett, and Tellet (BET) y Langmuir siguiendo Garzón et al. (2016). Los coeficientes de permeabilidad fueron estimados según la metodología descrita en Garzón et al. (2016).

Se han realizado ensayos de infiltración mediante un infiltrómetro de anillo sencillo y carga variable (Young 1991), tanto sobre el suelo natural como el plantado de *Vetiveria Zizanioides*, con objeto de caracterizar la infiltración y analizar el efecto de dicha cubierta vegetal sobre la capacidad de infiltración de agua del terreno. Los resultados obtenidos de ambos ensayos de infiltración se han ajustado a la ecuación de Kostiakov-Lewis (Ecuación 1). Kostiakov (1932) y Lewis (1937) propusieron una ecuación potencial empírica sencilla para ajustar los datos de infiltración experimental obtenidos de un ensayo de infiltración. El ajuste se ha realizado mediante regresión no lineal por el método del mínimo de las desviaciones al cuadrado, mediante el programa Microsoft Excel®. La ecuación de Kostiakov-Lewis (I_a) se ha usado ampliamente para caracterizar la infiltración en suelos agrícolas.

$$I_a = K \cdot t^n + f \cdot t \tag{1}$$

La ecuación de Kostiakov-Lewis depende de los parámetros empíricos K (cm. min⁻ⁿ) y n (adimensional y con valores menores que 1. El parámetro f (cm. min⁻¹) es la velocidad de infiltración para condiciones permanentes.

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis térmicos

En la tabla 1 se observa que al calentar a mayor temperatura las pérdidas de peso son mayores. Igualmente, se comprueba que con el cultivo cuando se calienta a 1000°C se consigue la menor disminución de peso y al calentar a 500°C se consigue una pérdida de peso de 5.59 %. Esta última es muy próxima a la registrada a 1000°C.

Tabla 1: Resultados del análisis térmico.

Muestra	Cultivo	Humedad a 110°C (%)	Pérdida de peso a 1000 °C	Pérdida de peso depues del tratamiento a 500°C/1h
DVH2	No	1,7±0,2	6.60 ± 0.05	
HSF	No	0.95 ± 0.4	8.71 ± 0.2	
ULT	Si	1.27 ± 0.02	6.21 ± 0.22	5.59 ± 0.03

3.2 Fisisorción

La muestra original DVH2 tiene una superficie específica BET (accesible al nitrógeno) de 15.50 m²/g y por calentamiento a 500°C durante 1 h disminuye hasta 0.79 m²/g. La otra,

HSF, presenta un valor original algo inferior, $11.68 \text{ m}^2/\text{g}$ y decrece hasta $0.5 \text{ m}^2/\text{g}$, aún más que la otra, al tratarla a $500 \text{ }^\circ\text{C}$. Por el método de Langmuir estas superficies específicas son más elevadas (Tabla 2). Este efecto se puede atribuir a las hipótesis de ambos modelos (BET y Langmuir) en cuanto a cómo ocurre el proceso de adsorción de gas. Sin embargo, con el cultivo las diferencias en los valores de superficies específicas son mínimas entre las muestras sin y con tratamiento térmico a 500°C . Igualmente se ha calculado la superficie específica según Dolinar, 2012, registrando un valor próximo al determinado para la muestra HSF con el método de BET.

La mayor parte de los poros de la muestra de suelo (HSF) se encuentra entre 21,88-148 nm. Sin embargo, cuando calentamos a 500°C durante 1 hora pasan a estar comprendidos entre 30,07-247,68 nm. Además, las densidades de poros con ese tamaño son mucho más bajas. Un efecto parecido sucede con la muestra DVH2, pasando en este caso de 17,39-160,28 nm a 18,035-181,74 nm cuando se trata a 500°C (Figura 1). Con el cultivo la mayor parte de los poros se encuentran entre 20-100 nm y el poro predominante está en torno a 40 y cuando calentamos aumenta la densidad de poros entre 20-100 nm y el pico máximo (alrededor de 40) registra unas densidades por encima de 0.006 (Figura 2). También se ve que la densidad de poros con esos tamaños es similar a los de la muestra sin tratar. Por tanto, el tratamiento térmico hace que los poros se hagan más grandes.

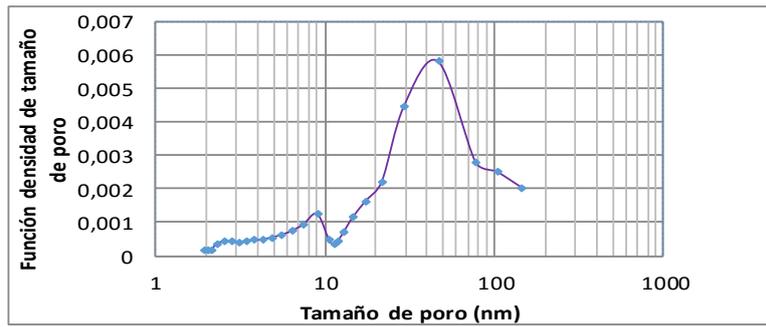
En la figura 3 se representa la superficie específica acumulada del suelo en su estado natural frente al tamaño de poros para las fases de adsorción y desorción, asumiendo que los poros tienen forma cilíndrica. El máximo valor de superficie específica en la muestra HSF fue de $10,14 \text{ m}^2/\text{g}$ en la fase de adsorción y de $13,45 \text{ m}^2/\text{g}$ en la desorción. Estos valores fueron más altos en la muestra DVH2: $13,25 \text{ m}^2/\text{g}$ (adsorción) y $16,69 \text{ m}^2/\text{g}$ (desorción). Igualmente se ve que los valores registrados después del tratamiento térmico a $500 \text{ }^\circ\text{C}$ son mucho más bajos. Sin embargo con el cultivo el máximo valor de la superficie específica acumulada es de $10,45 \text{ m}^2/\text{g}$ (adsorción) y $13,36 \text{ m}^2/\text{g}$ (desorción), cuando el tamaño de poro está en torno a 2 nm. Conforme desciende el tamaño de poro se registra un descenso brusco de este parámetro (Figura 4). En el caso de la misma muestra tratada a 500°C , las superficies específicas acumuladas aumentan con respecto a las muestras de suelo sin cultivo de Vetiveria. También se observa que en estas condiciones, la evolución de la superficie específica con el tamaño de poros es bastante parecida entre muestras tratadas y no tratadas térmicamente.

Igualmente se observa que la permeabilidad varía con el tamaño de poro oscilando entre 10^{-11} (poros grandes) - 10^{-18} (poros pequeños) m/sg y alcanza valores más bajos con las muestras tratadas térmicamente a $500 \text{ }^\circ\text{C}$ (Tabla 2). Las diferencias entre las fases de adsorción y desorción son prácticamente despreciables en las muestras sin cultivo y tratadas térmicamente a 500°C . Si comparamos los coeficientes de permeabilidad con la clasificación de grados de permeabilidad de Terzaghi y Peck se observa que todas las muestras son prácticamente impermeables (Lambe 2001).

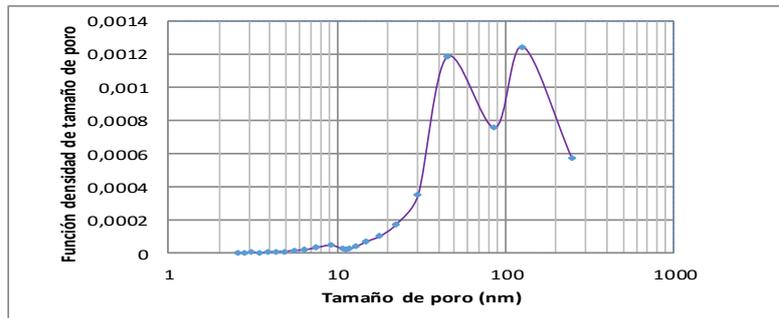
3.3 Ensayo de infiltración

Se ha comprobado experimentalmente que la tasa de infiltración del terreno estudiado es elevada, como corresponde a su textura con un alto porcentaje de arena. Se ha confirmado que el efecto producido por la plantación de Vetiveria ha sido la reducción de la velocidad de infiltración del terreno. Esto puede deberse a la mejora de la estructura y la consolidación del suelo que han originado las raíces de la planta. Esto, junto con la reducción de la precipitación debido a la interceptación de agua por la cubierta vegetal, puede suponer un efecto beneficioso para la protección de los taludes de la erosión del suelo (Figura 5).

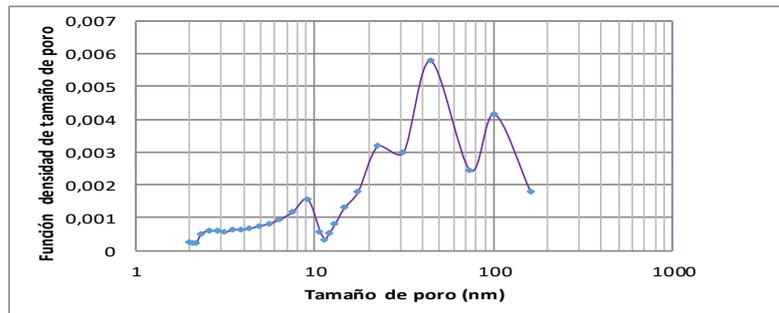
Figura 1: Función de densidad de tamaño de poro (PSD) de suelo en su estado natural (SC).



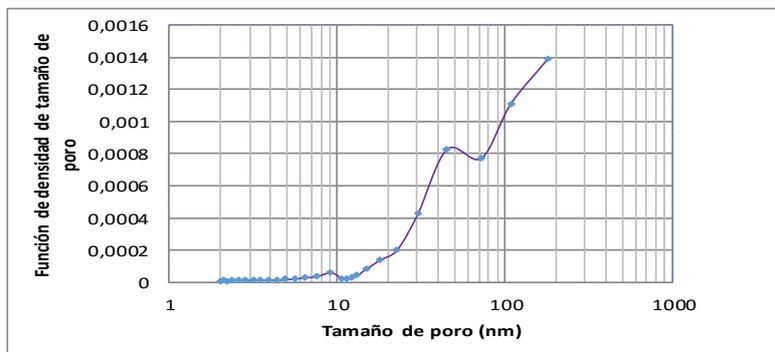
a) HSF



b) HSF 500 °C



c) DVH2



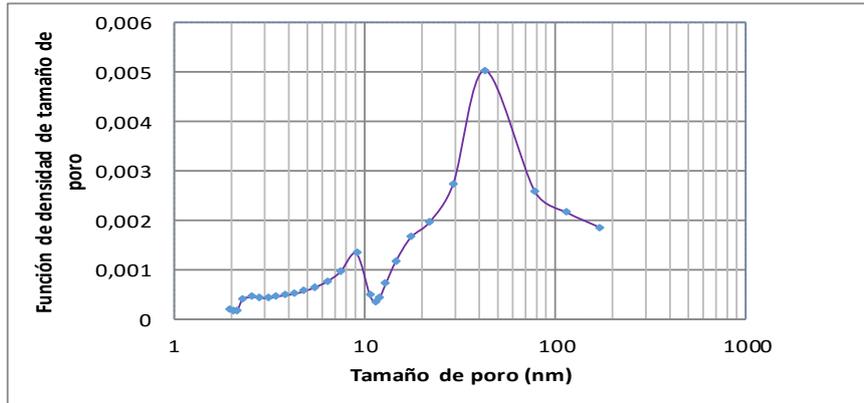
d) DVH2 500°C

Tabla 2: Superficies específicas, tamaño medio de poros y permeabilidad de las muestras de suelo sin sembrar, con cultivo y de esas mismas muestras tratadas a 500°C durante 1 hora.

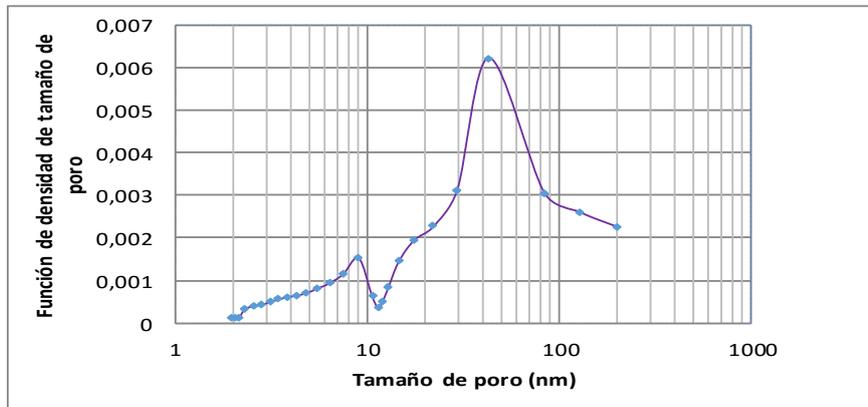
Sample	Superficie específica (m ² /g)			Tamaño medio de poro (nm)		Permeabilidad kw (m/s)	
	BET	Langmuir	Dolinar, 2012	Ads	Desop	Ads	Desop
HSF (SC)	11,68	16,04	10.57	103.92- 1.97	101.48- 1.99	6.78x 10 ⁻¹¹ - 4.59 x 10 ⁻¹⁶	4.32x10 ⁻¹¹ - 5.03x10 ⁻¹⁶
HSF 500C(SC)	0,50	0,67		126.15- 2.55	99.37- 2.05	4.42x10 ⁻¹¹ - 2.43x10 ⁻¹⁸	1.58x10 ⁻¹¹ - 8.6 x10 ⁻¹⁷
DVH2(SC)	15,50	21,25	10.57	100.33- 1,97	105.59- 2.06	8.32x10 ⁻¹¹ - 7.21x10 ⁻¹⁶	4.41x10 ⁻¹¹ - 1.05x10 ⁻¹⁵
DVH2 500C(SC)	0,79	1,09		109.03- 1.98	98.18- 2.05	2.57x10 ⁻¹¹ - 2.72x10 ⁻¹⁷	1.79x10 ⁻¹¹ - 7.44x10 ⁻¹⁷
280(CC)	11,93	16,44		115.26- 1.97	102.59- 1.98	6,73x 10 ⁻¹¹ - 5.6 x10 ⁻¹⁶	3.7 x10 ⁻¹¹ - 5.21 x10 ⁻¹⁶
281 500C (CC)	11,13	15,39		127.68- 1.97	104.69- 1.85	9.75 x10 ⁻¹¹ - 3.6 x10 ⁻¹⁶	4.74 x10 ⁻¹¹ - 5.41 x10 ⁻¹⁷

Nota: SC= sin cultivo, CC= con cultivo, Ads= Adsorción, Desop= Desorción

Figura 2: Función de densidad de tamaño de poro (PSD) de suelo con cultivo (CC)

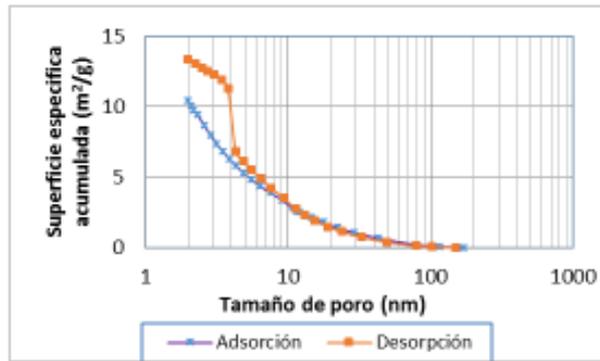


a) Con cultivo

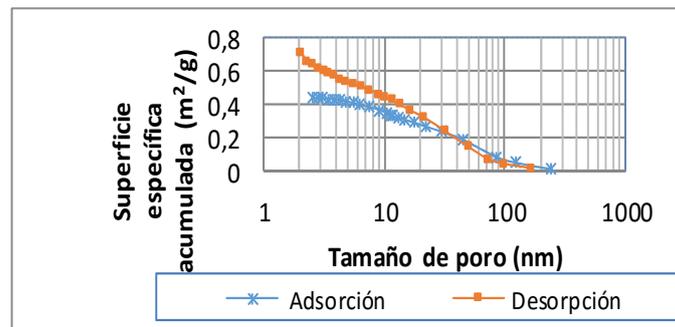


b) Con cultivo a 500 °C

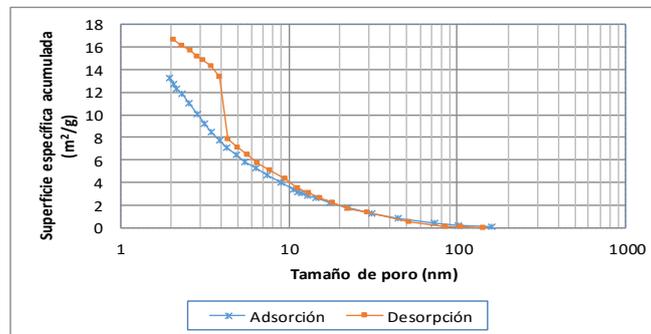
Figura 3: Evolución de la superficie específica acumulada con el tamaño de poro en las fases de adsorción y desorción por R.IH de suelo en estado natural y desprovisto de cultivo (SC).



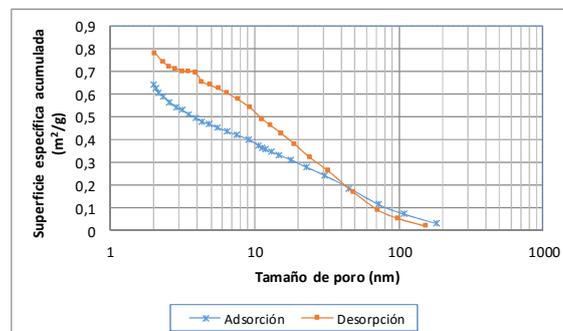
a) HSF



b) HSF 500°C

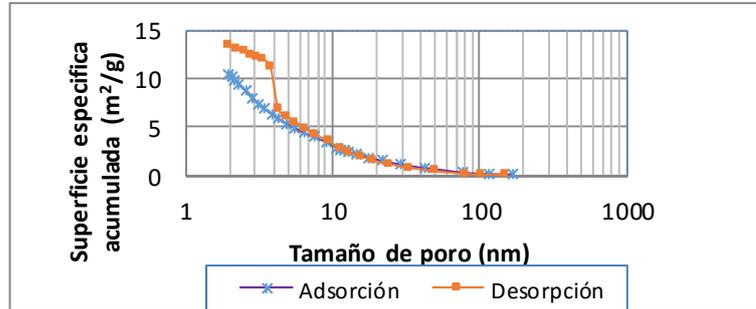


c) DVH2

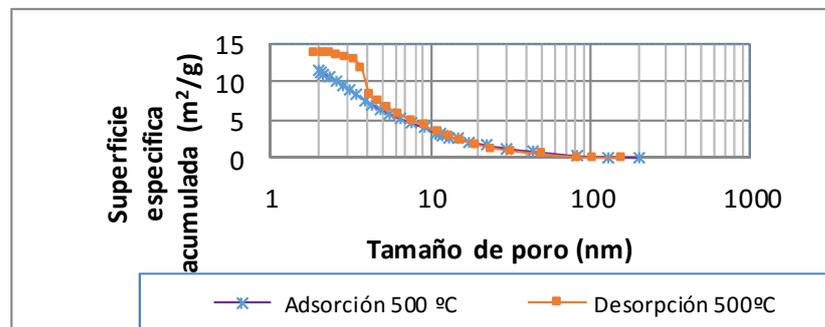


d) DVH2 500 °C

Figura 4: Evolución de la superficie específica acumulada con el tamaño de poro en las fases de adsorción y desorción por BJH de suelo con cultivo (CC).

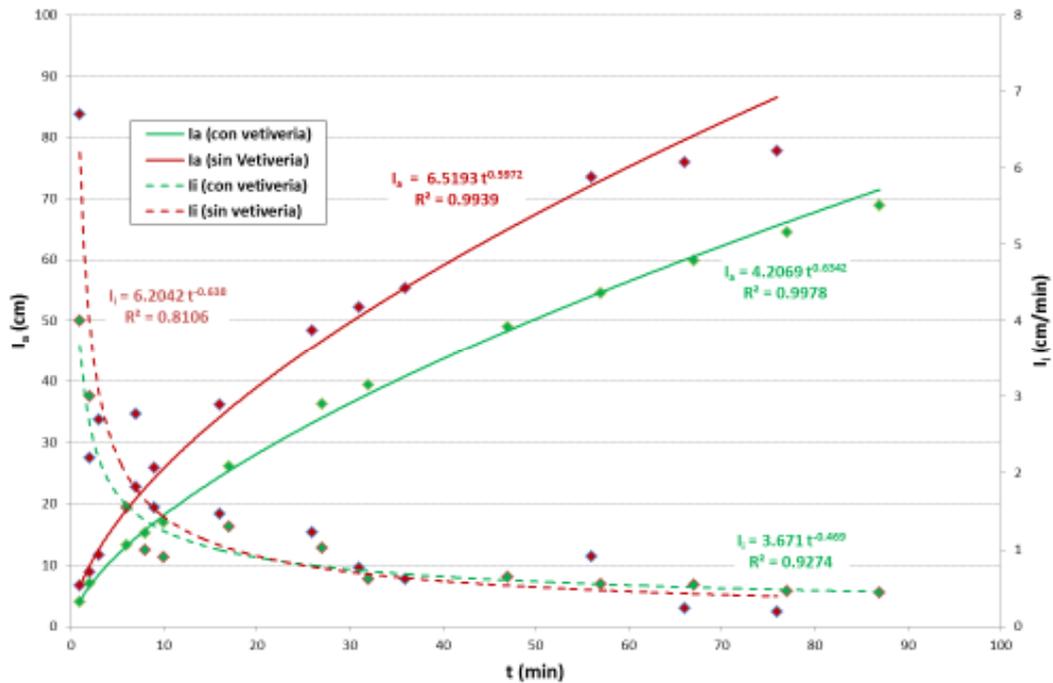


a) Con cultivo



b) Con cultivo a 500°C

Figura 5: Infiltrograma en muestra de suelo natural y plantado de Vetiveria.



4. Conclusiones

Las pérdidas de peso por calentamiento a 1000°C fueron menores en la muestra con cultivo, además se registraron diferencias mínimas con el suelo tratado a 500°C. Asimismo, el suelo en su estado natural tiene un tamaño de poro predominante entre 17,39-247,68 nm. Cuando se calienta a 500°C estos poros se hacen más grandes. Con el cultivo la mayor parte de los poros se encuentran entre 20-100 nm y el poro predominante está entorno a 40 nm y cuando calentamos aumenta la densidad de poros entre 20-100 nm y el pico máximo (entorno a 40) registra unas densidades por encima de 0.006. Esto hace que se convierta en prácticamente impermeable. Igualmente, la superficie específica acumulada fue mayor en la fase de desorción y los valores registrados cuando se trata térmicamente a 500 °C fueron mucho más bajos. Estos valores tan bajos en las muestras en su estado natural y tratado térmicamente están relacionados con el límite líquido e índice plástico del suelo. Estas diferencias tan bruscas con el tratamiento térmico, desaparecerán con el desarrollo de la planta.

La plantación de Vetiveria produce que las velocidades de infiltración se reduzcan debido a la mejora de la estructura y la consolidación del suelo originada por las raíces de la planta. Esto, sumado a la reducción de la precipitación debido a la interceptación de agua por la cubierta vegetal, puede mejorar la protección de los taludes de la erosión del suelo.

Los estudios realizados en este trabajo de investigación parecen indicar que la plantación de Vetiveria podría ser una alternativa basada en la bioingeniería para estabilizar los taludes de un modo económico y respetuoso con el medioambiente. En este sentido, es de interés plantear trabajos futuros y nuevos estudios que refuercen las conclusiones aquí obtenidas.

5. Bibliografía

- Balangood, K.D., Wong, F.M., & Balangood, T.D. (2015). Chrysopogon zizanioides (vetiver grass) as a potential plant for landslide bioengineering at Atok, Benguet, Philippines. *Australian Journal of Botany*, 63 (3-4), 216-221.
- Chou, S.T., Shih, Y., & Lin, C.C. (2015). Vetiver grass (Vetiveria zizanioides) oils. *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, 5, 843-848.
- Danh, L.T., Truong, P., Mammucari, R., Tran, T., & Foster, N. (2009). Vetiver grass, Vetiveria zizanioides: A choice plant for phytoremediation of heavy metals and organic wastes. *International Journal of Phytoremediation*, 11 (8), 664-691.
- Demirel, O., & Demirel, K. (2005). An examination of the use of "vetiver grass" to prevent erosion in Yusufeli Region (Coruh Watershed area-Turkey): A case study. *Journal of Environmental Biology*, 26(2), 409-419.
- Dolinar, B. (2012). A simplified method for determining the external specific surface area on non-swelling fine grained soils. *Applied Clay Science*, 64, 34-37.
- Garzón, E., Romero, E., & Sánchez-Soto, P. (2016). Correlation between chemical and mineralogical characteristics and permeability of phyllite clays using multivariate statistical analysis. *Applied Clay Science*, 129, 92-101.
- 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.
- Grimshaw, R.G., & Helfer, L. (1995). *Vetiver grass for soil and water conservation, land rehabilitation, and embankment stabilization*. A collection of papers and newsletters compiled by the Vetiver Network. World Bank Technical Paper, 273: 281 pp.

- Islam, M.S., & Shahin, H.M. (2013). Reinforced effect of vetiver (*Vetiveria zizanioides*) root in geotechnical structures – Experiments and analyses. *Geomechanics and Engineering*, 5(4), 313-329.
- Kostiakov, A.M. (1932). On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soils and on the necessities for studying it from a dynamic point of view for purpose of amelioration. In *International Society of Soil Science, 6th Commission Transactions*, (pp. 17-21). Gronigen Holland V. A.
- Lambe, T.W., & Whitman, R.V. (2001). *Mecánica de suelos*. Instituto tecnológico de Massachusetts.
- Lewis, M. R. 1937. The rate of infiltration of water in irrigation practice. *Transactions of the American Geophysical Union*, 18, 361-368
- Mckovski, S.B., & van Beek, L.P.H. (2009). Root morphology and effects on soils reinforcement and slope stability of Young vetiver (*Vetiveria zizanioides*) plants grown in semi-arid climate. *Plant and Soil*, 324 (1), 43-56.
- Rivera-Posada, J. H. & 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 Cali (Colombia).
- Robles-Austriaco, L., Luna, M.L.S., & Tolentino, M.V. (2012). Bio-methods for soil stabilisation. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. *Ground Improvement*, 165 (4), 259-266.
- Rotkittikhun, P., Chalyarat, R., Kruatrachue, M., Pokethitayook, P., & Baker, A.J.M. (2007). Growth and lead accumulation by the grasses *Vetiveria zizanioides* and *Thysanolaena maxima* in lead-contaminated soil amended with pig manure and fertilizer: A glasshouse study. *Chemosphere*, 66(1), 45-53.
- Sinha, R.K., Sinha, S., & Grosh, A. (2005). Phytoremediation: the bioengineering technique for vetiver (*Vetiveria zizanioides* Linn. (Nash)). *Indian Journal of Environmental Protection*, 25(11), 970-981.
- Srivastava, J., Kayastha, S., Jamil, S., & Srivastava, V. (2008). Environmental perspectives of *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30 (4), 413-417.
- Srivastava, N.K., Ram, L.C., & Masto, R.E., 2014. Reclamation of overburden and lowland in coal mining area with fly ash and selective plantation: A sustainable ecological approach. *Ecological Engineering*, 71, 479-489.
- Wilde, E.W., Brigmon, R.I., Dunn, D.I., Helkamp, M.A., & Dagnan, D.C. (2005). Phytoextraction of lead from firing range soil by Vetiver grass. *Chemosphere*, 61(10), 1451-1457.
- Yang, B., Lan, C.Y., & Shu, W.S. (2005). Growth and heavy metal accumulation of *Vetiveria zizanioides* grown on lead/zinc mine tailings. *Acta Ecologica Sinica*, 25 (1), 45-50.
- Young, E. 1991. Infiltration measurements, a review. *Hydrological processes* 5, 309-320.