



USO DE GRAMÍNEAS PARA LA RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN VERTISOL VENEZOLANO

USE OF GRASS FOR THE RECOVERY OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF A VENEZUELAN VERTISOL

USO DE GRAMÍNEAS PARA A RECUPERAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM VERTISSOLO VENEZUELANO

89

Nicolas Luna¹

nicoluna19702023@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0009-5856-9957>

Nectalí Rodríguez²

fzamora@inia.gov.ve

<https://orcid.org/0009-0007-5947-1877>

Miklas Lopez³

mklasl@yahoo.com

<https://orcid.org/0009-0003-7433-3334>

Recibido: 20/10/23

Aceptado: 12/11/23

Publicado: 23/11/23

Correspondencia: mklasl@yahoo.com

1. Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda Coro, Venezuela. Dpto. Desarrollo y Producción Agrícola.
2. Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda Coro, Venezuela. Dpto. Desarrollo y Producción Agrícola.
3. Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda Coro, Venezuela. Departamento de Ambiente y Tecnología Agrícola. Coro-Falcón.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado en la Unidad de Apoyo Académico ing. “José Landaeta” ubicada en la llanura de Coro aproximadamente a 11° 21' 00" de latitud Norte y 69° 37' 00" de longitud oeste, municipio Miranda Estado Falcón; con el objetivo de evaluar el desarrollo radical de cuatro gramíneas y la vegetación natural sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas sobre un suelo vertisol. El ensayo se llevó a cabo aplicando un diseño experimental en bloques completamente aleatorizado con cinco tratamientos: T1 (Vetiveria zizanoides L), T2 (Pennisetum purpurem Schuamack), T3 (Panicum máximum Jacq), T4 (Saccharrum officianarum L), T5 (Vegetación natural) y tres repeticiones. Los muestreos se realizaron al inicio de la siembra (MI), a los dos meses de la siembra (2M), a los cuatro meses (4M) y a los seis meses (6M). Los análisis físicos fueron los siguientes: densidad aparente, macroporosidad y conductividad hidráulica saturada. Los resultados de esta experiencia mostraron valores que indican una ligera tendencia positiva al efecto del crecimiento radical sobre algunas propiedades físicas y en algunos casos un efecto negativo en las mismas. Se consiguió muy poca diferencia estadística (α 0.05) entre los tratamientos lo cual entendemos como un efecto del factor tiempo en los procesos de acumulación, transformación y adición que comúnmente actúan en la recuperación de suelos con alta degradación física.

Palabras claves: compactación, degradación gramíneas, raíces, vertisol.

ABSTRACT

This research work was carried out in the Academic Support Unit ing. “José Landaeta” located in the Coro plain at approximately 11° 21' 00" North latitude and 69° 37' 00" West longitude, Miranda municipality, Falcón State; with the objective of evaluating the radical development of four grasses and natural vegetation on the physical, chemical and biological properties on a vertisol soil. The trial was carried out using a completely randomized block experimental design with five treatments: T1 (Vetiveria zizanoides L), T2 (Pennisetum purpurem Schuamack), T3 (Panicum máximum Jacq), T4 (Saccharrum officianarum L), T5 (Natural vegetation) and three repetitions. Sampling was carried out at the beginning of sowing (MI), two months after sowing (2M), four months (4M) and six months (6M). The physical analyzes were the following: apparent density, macroporosity and saturated hydraulic conductivity. The results of this experience showed values that indicate a slight positive trend to the effect of root growth on some physical properties and in some cases a negative effect on them. Very little statistical difference was achieved (α 0.05) between the treatments, which we understand as an effect of the time factor in the

Revista CINTE: <https://cienciainteligente.com/index.php/CIN>

Volumen 1 Número 2 noviembre - diciembre (2023)

ISSN 2960-8449

accumulation, transformation and addition processes that commonly act in the recovery of soils with high physical degradation.

Key words: compaction, grass degradation, roots, vertisol.

RESUMO

91

O presente trabalho de pesquisa foi realizado na Unidade de Apoio Acadêmico Eng. "José Landaeta", localizada na planície de Coro, aproximadamente a 11° 21' 00" de latitude Norte e 69° 37' 00" de longitude Oeste, município Miranda, Estado Falcón. O objetivo foi avaliar o desenvolvimento radicular de quatro gramíneas e da vegetação natural nas propriedades físicas, químicas e biológicas de um solo vertissolo. O ensaio foi conduzido através de um delineamento experimental em blocos completamente ao acaso, com cinco tratamentos: T1 (*Vetiveria zizanioides* L), T2 (*Pennisetum purpureum* Schuamack), T3 (*Panicum maximum* Jacq), T4 (*Saccharum officinarum* L), T5 (Vegetação natural) e três repetições. As amostragens foram realizadas no início do plantio (MI), aos dois meses de plantio (2M), aos quatro meses (4M) e aos seis meses (6M). As análises físicas incluíram densidade aparente, macroporosidade e condutividade hidráulica saturada. Os resultados desta experiência mostraram valores que indicam uma leve tendência positiva no efeito do crescimento radicular sobre algumas propriedades físicas e, em alguns casos, um efeito negativo. Observou-se pouca diferença estatística (α 0.05) entre os tratamentos, o que é entendido como um efeito do tempo nos processos de acumulação, transformação e adição que geralmente atuam na recuperação de solos com alta degradação física.

Palavras-chave: compactação, degradação de gramíneas, raízes, vertissolo.

1. INTRODUCCION

La erosión del suelo se ha convertido en un verdadero problema a nivel mundial y esto ha llevado a que muchos suelos con potencial agrícola disminuyan su capacidad productiva y por consiguiente afectando en algunos casos las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Nosrali et al., 2019). Al respecto Werner et al., (2022), señalan que el crecimiento y desarrollo de las raíces depende de las condiciones físicas y químicas del suelo, cuando los suelos presentan capas compactadas la forma y dirección de crecimiento de las mismas puede cambiar, así mismo las propiedades de movimiento y retención de agua se ven afectadas.

En muchas investigaciones el efecto de compactación sobre el crecimiento y desarrollo de raíces han sido relacionadas con la resistencia al penetrometro. También Wang et al., (2021), señalan que las restricciones físicas de los

vertisoles están relacionadas al tipo de arcillas dominantes (esmeclitas, montmorillonita) y al régimen hídrico, acompañado de ciclos de expansión-contracción que dificulta la aplicación de métodos y estimaciones para su evaluación.

Si bien puede almacenar cantidades importantes de agua, el rango aprovechable es muy corto, debido a los problemas de aireación, resistencia a la penetración y la escasa profundidad efectiva de enraizamiento que pueden alcanzar los cultivos (Yañez et al., 2019). Son susceptibles a la compactación, en particular cuando las operaciones de campo son realizadas con altos contenidos hídricos (Laker y Nortje, 2020). Sin embargo, en muchos casos, dichos efectos no son reflejados por el aumento en la densidad del suelo.

Las propiedades físicas y mecánicas como la consistencia, densidad aparente, capacidad de soporte para sostener el peso de maquinarias y herramientas agrícolas, están relacionadas con la aparición de procesos indeseables, como la compactación inducida o el encostramiento que se acentúan con los requerimientos de una producción cada vez más intensiva y que resultan muchas veces irreversibles (Orzech et al., 2021).

La continuidad de este proceso de humedecimiento y secado del suelo produce lo que se llama “encostramiento y sellado”, la cual se caracteriza por la presencia de capas duras que se forman producto de la alternancia de dichos procesos y por los altos contenidos de arcillas, lo cual trae como consecuencia problemas de manejo en estos suelos (Tian et al., 2022).

Debido a la problemática observada y detectada en la Unidad de Apoyo Académico Ing “José Landaeta”, donde los suelos verticos muestran una serie de indicadores de degradación que tienen que ver principalmente con problemas de compactación, formación de piso de arado, baja penetración de agua en el suelo, problemas de aireación, bajo contenido de materia orgánica, alta resistencia a la penetración, sellado, encostramiento y acumulación de sales como los encontrados en las zonas áridas venezolanas (Acevedo et al., 2021).

Se realizó un trabajo de investigación donde se utilizaron varias especies de gramíneas *Vetiveria zizanioides* L Nash, *Sacharrum officinarum* L, *Pennisetum purpureum* schuamack, *Panicum maximum* Jacq y la vegetación natural batatilla (*Ipomoea quinquefolia* L), pepino de monte (*Cucumis anguria* L.), caseto (*Bastardia viscosa* L) y el arrocillo (*Echinocloa colonum* L.), donde se evaluó el efecto del desarrollo radical de las mismas sobre algunas variables físicas, lo cual, generó una base de información muy importante para el manejo de este tipo de suelos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en La unidad de apoyo académico Ing. “José Landaeta” ubicada en el barrio San José, parroquia San Antonio del Municipio Miranda, Estado Falcón Venezuela. Zona sur-este de la llanura de coro, aproximadamente a 11° 21' 00" de latitud Norte y 69° 37' 00" de longitud oeste.

De acuerdo con las características climáticas del área y usando el sistema de clasificación Holdrige, (Jaimes et al., 2006) “ Zonas de Venezuela ” esta área pertenece al llamado Monte espinoso tropical y su fuente principal de agua es el acuífero de coro, a través de la extracción de ésta mediante pozos.

La unidad experimental estuvo conformada por tres (3) surcos de 4 metros de largo y separados entre si a 1,5 m. El diseño experimental utilizado fue bloques completamente aleatorizado con cinco (5) tratamientos y tres (3) repeticiones: T1: Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L Nash), T2: Pasto Elefante (*Pennisetum purpureum* Schuamack), T3: Pasto Guinea (*Panicum maximum* Jacq) ,T4: Caña de Azúcar (*Sacharrum officinarum*) T5: Vegetación natural.

Para la siembra se procedió a preparar el terreno de forma manual con pico, pala y escardilla para el trazado de los surcos, motivado al tamaño de la unidad experimental se construyeron 3 surcos distanciados a 1,50 m entre si por cada tratamiento; el manejo para los 5 tratamientos fue homogéneo; no se presentó ninguna incidencia de plagas y enfermedades, la frecuencia de riego fue de 3 veces por semana durante el primer mes de desarrollo y 2 veces por semana desde el segundo hasta el sexto mes después de sembradas la parcelas, el desmalezado aplicado se hizo de tipo manual para todos los tratamientos con uso de escardilla y machete.

Los muestreos fueron realizados de la siguiente manera: antes de la siembra, a los 2 meses después de la siembra de las parcelas; las mismas fueron tomadas en el surco del medio de cada tratamiento mediante la utilización de palas, picos y chicora al lado de las macollas de los pastos. Se tomaron muestras simples a profundidades 0 - 15 cm, a las cuales se les realizó análisis de rutina (Pla, 1983).

Las muestras para densidad aparente, conductividad hidráulica y macroporos fueron tomadas con un equipo tipo uhland para muestras no alteradas y se analizaron de acuerdo con la metodología propuesta por Pla (1983).

Los datos se procesaron en el sistema InfoStat versión 1.0 (Balzarini et al. 2012). Los datos estuvieron sujetos a análisis de varianza, la comparación de medias se efectuó mediante la prueba de comparación múltiple de Duncan (Steel

et al. 1997), en aquellas variables que presentaron diferencias significativas después de realizado el análisis de varianza (ANOVA) con un valor de $P < 0,05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestran los valores promedios de densidad aparente obtenidos por tratamientos a la profundidad (0-15 cm) durante el ensayo, en el muestreo inicial se obtuvieron los siguientes valores $1,56 \text{ Mg/m}^3$ para el T1 (Vetiver), $1,53 \text{ Mg/m}^3$ para el T2 (Pasto elefante), $1,46 \text{ Mg/m}^3$ para el T3 (Pasto guinea), $1,57 \text{ Mg/m}^3$ para el T4 (Caña de azúcar) y $1,56 \text{ Mg/m}^3$ para el T5 (Testigo).

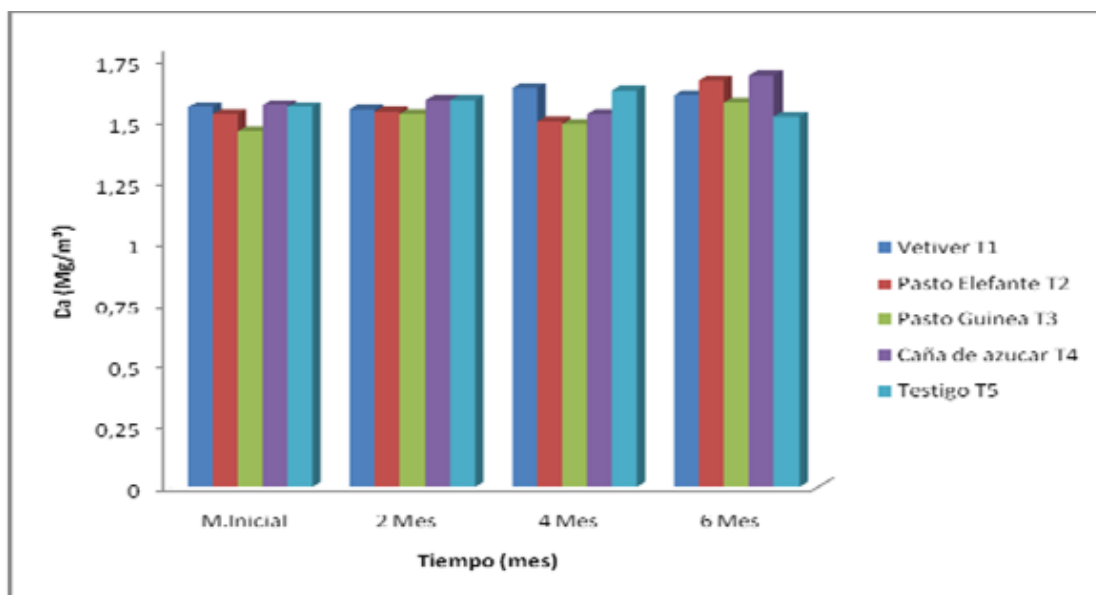


Figura 1. Densidad aparente en función del desarrollo radical a 0-15cm profundidad en el muestreo inicial, a los 2, 4 y 6 meses.

En el 2do mes se obtuvieron los siguientes valores de D_a a una profundidad (0-15 cm); $1,55 \text{ Mg/m}^3$ para el T1 (Vetiver), $1,54 \text{ Mg/m}^3$ para el T2 (Pasto elefante), $1,53 \text{ Mg/m}^3$ para el T3 (Pasto guinea), $1,59 \text{ Mg/m}^3$ para el T4 (Caña de azúcar) y $1,59 \text{ Mg/m}^3$ para el T5 (Testigo). Los valores obtenidos de D_a se mantuvieron similares con respecto al muestreo inicial con un ligero incremento en el T2 (Pasto elefante), T3 (Pasto guinea), T4 (Caña de azúcar) y T5 (Testigo) y una ligera disminución en el T1 (Vetiver). No hubo diferencias significativas para alfa 0.05 en los tratamientos; esto significa que no hubo efecto del desarrollo radical sobre esta variable a los dos (2) meses.

En el 4to mes se obtuvieron los siguientes valores de D_a a una profundidad (0-15 cm); $1,64 \text{ Mg/m}^3$ para el T1 (Vetiver), $1,50 \text{ Mg/m}^3$ para el T2 (Pasto elefante), $1,49 \text{ Mg/m}^3$ para el T3 (Pasto guinea), $1,53 \text{ Mg/m}^3$ para el T4 (Caña de azúcar) y $1,63 \text{ Mg/m}^3$ para el T5 (Testigo). Los valores obtenidos de D_a evidencian un ligero

aumento en los tratamientos T1 (Vetiver), T5 (Testigo) y una ligera disminución en los tratamientos T2 (Pasto elefante), T3 (Pasto guinea) y T4 (Caña de azúcar) con respecto al muestreo inicial. No hubo diferencias significativas para alfa 0.05 en los tratamientos; indicando que no hubo efecto del desarrollo radical sobre esta variable a los cuatro (4) meses.

Al 6to mes se obtuvieron los siguientes valores de D_a a una profundidad (0-15 cm); 1,61 Mg/m³ para el T1 (Vetiver), 1,67 Mg/m³ para el T2 (Pasto elefante), 1,58 Mg/m³ para el T3 (Pasto guinea), 1,69 Mg/m³ para el T4 (Caña de azúcar) y 1,52 Mg/m³ para el T5 (Testigo). Los valores obtenidos de D_a evidencian un ligero aumento en los tratamientos T1 (Vetiver), T2 (Pasto elefante), T3 (Pasto guinea) y T4 (Caña de azúcar) y una ligera disminución en el T5 (Testigo) con respecto al muestreo inicial. No hubo diferencias significativas para alfa 0.05 en los tratamientos; indicando que no hubo efecto del desarrollo radical sobre esta variable a los seis (6) meses.

Los análisis estadísticos no mostraron diferencias significativas, lo que indica que no hubo un efecto del desarrollo radical de los tratamientos sobre la variable densidad aparente en un periodo de 6 meses. El factor tiempo contribuyó a que el efecto del desarrollo radical sobre esta variable no se observara claramente, lo cual nos lleva a pensar que el ensayo debió ajustarse a un lapso más largo.

De acuerdo a Reyes (2019) los valores de densidad aparente denotan una severidad de la degradación del suelo calificada en este caso como muy alta para el tipo de textura (fina) presente en el área de ensayo, aunque este autor señala que esta variable no fue el mejor indicador para describir los procesos de degradación y/o la calidad física de los suelos, dado que de acuerdo al análisis de componentes principales (ACP), el agua disponible, espacio poroso total, índice de cono a los 20 cm, índice de separabilidad de partículas y conductividad hidráulica saturada, fueron los mejores indicadores.

En la figura 2 se muestran los valores de macroporos promedios obtenidos por tratamientos a la profundidad (0-15 cm) durante el ensayo, en el muestreo inicial se obtuvieron los siguientes valores 8,9 % para el T1 (Vetiver), 8,22 % para el T2 (Pasto elefante), 8,28 % para el T3 (Pasto guinea), 9,33 % para el T4 (Caña de azúcar) y 9,01 % para el T5 (Testigo).

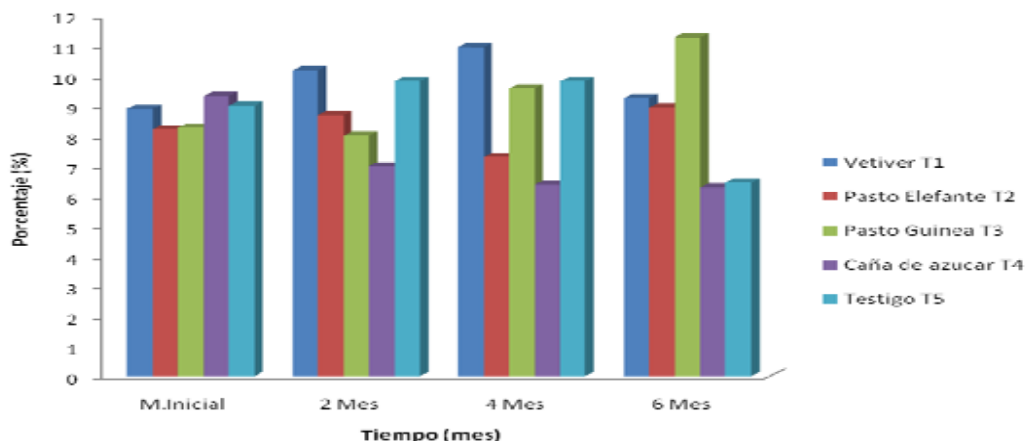


Figura 2. Macroporosidad en función del desarrollo radical a 0-15 cm profundidad.

En el 2do mes se obtuvieron los siguientes valores de macroporos a una profundidad (0-15 cm); 10,2 % para el T1 (Vetiver), 8,7 % para el T2 (Pasto elefante), 8,02 % para el T3 (Pasto guinea), 7 % para el T4 (Caña de azúcar) y 9,83 % para el T5 (Testigo). Los valores obtenidos de macroporos muestran un ligero incremento en el T1 (Vetiver), T2 (Pasto elefante), T5 (Testigo) y una ligera disminución en el T3 (Pasto guinea) y T4 (Caña de azúcar) con respecto al muestreo inicial. No hubo diferencias significativas en los tratamientos con alfa 0.05; lo que indica que no hubo efecto del desarrollo radical sobre esta variable a los dos (2) meses.

En el 4to mes se obtuvieron los siguientes valores de macroporos a una profundidad (0-15 cm); 10,96 % para el T1 (Vetiver), 7,3 % para el T2 (Pasto elefante), 9,58 % para el T3 (Pasto guinea), 6,37 % para el T4 (Caña de azúcar) y 9,83 % para el T5 (Testigo). Los valores obtenidos de macroporos muestran un ligero incremento en el T1 (Vetiver), T3 (Pasto guinea), T5 (Testigo) y una ligera disminución en T2 (Pasto elefante) y T4 (Caña de azúcar) con respecto al muestreo inicial. No hubo diferencias significativas en los tratamientos con alfa 0.05; esto indica que no hubo efecto del desarrollo radical sobre esta variable a los cuatro (4) meses.

Al 6to mes se obtuvieron los siguientes valores de macroporos a una profundidad (0-15 cm); 9,26 % para el T1 (Vetiver), 8,95 % para el T2 (Pasto elefante), 11,28 % para el T3 (Pasto guinea), 6,28 % para el T4 (Caña de azúcar) y 6,45 % para el T5 (Testigo). Los valores obtenidos de macroporos muestran un ligero incremento en el T1 (Vetiver), T2 (Pasto elefante), T3 (Pasto guinea) y una ligera disminución en T4 (Caña de azúcar) y T5 (Testigo) con respecto al muestreo inicial. No hubo diferencias significativas en los tratamientos con alfa 0.05; lo que significa que el desarrollo radical de los tratamientos no tuvo un

efecto marcado sobre esta variable (estadísticamente), aunque en algunos tratamientos mostraron algunos cambios que pudieran ser más claros si el tiempo del ensayo hubiese sido mayor.

En la figura 3 se muestran los valores de conductividad hidráulica promedios obtenidos por tratamientos a la profundidad (0-15 cm) durante el ensayo, en el muestreo inicial se obtuvieron los siguientes valores 0,17 cm/h para el T1 (Vetiver), 0,001 cm/h para el T2 (Pasto elefante), 0,001 cm/h el T3 (Pasto guinea), 0,001 cm/h para el T4 (Caña de azúcar) y 0,001 cm/h para el T5 (Testigo).

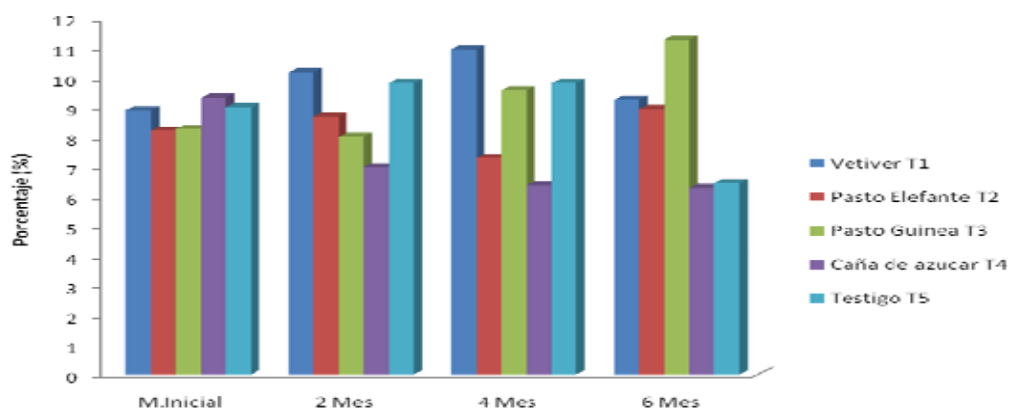


Figura 3. Efecto del desarrollo radical de los tratamientos en la conductividad hidráulica.

En el 2do mes se obtuvieron los siguientes valores de conductividad hidráulica a una profundidad (0-15 cm); 0,02 cm/h para el T1 (Vetiver), 0,22 cm/h para el T2 (Pasto elefante), 0,001 cm/h el T3 (Pasto guinea), 0,001 cm/h para el T4 (Caña de azúcar) y 0,001 cm/h para el T5 (Testigo). Los valores obtenidos mostraron una ligera disminución en T1 (Vetiver) y un ligero aumento de la conductividad hidráulica en T2 (Pasto elefante), mientras que el T3 (Pasto guinea), T4 (Caña de azúcar) y T5 (Testigo) se mantuvieron similares al muestreo inicial. No hubo diferencias significativas en los tratamientos con alfa 0.05; esto indica que no hubo efecto del desarrollo radical sobre esta variable a los dos (2) meses.

En el 4to mes se obtuvieron los siguientes valores de conductividad hidráulica a una profundidad (0-15 cm) 0,01 cm/h para el T1 (Vetiver), 2,77 cm/h para el T2 (Pasto elefante), 0,02 cm/h el T3 (Pasto guinea), 0,001 cm/h para el T4 (Caña de azúcar) y 0,37 cm/h para el T5 (Testigo). Los valores obtenidos de conductividad hidráulica muestran un ligero aumento en el T2 (Pasto elefante), T3 (Pasto guinea) y T5 (Testigo), mientras que el T1 (Vetiver) tuvo una ligera disminución y el T4 (Caña de azúcar) se mantuvo similar al muestreo inicial. No hubo diferencias significativas en los tratamientos con alfa 0.05; esto indica que no hubo efecto del desarrollo radical sobre esta variable a los cuatro (4) meses.

Al 6to mes se obtuvieron los siguientes valores de conductividad hidráulica a una profundidad (0- 15 cm); 2,26 cm/h para el T1 (Vetiver), 0,004 cm/h para el T2 (Pasto elefante), 0,03 cm/h el T3 (Pasto guinea), 1,43 cm/h para el T4 (Caña de azúcar) y 2,1 cm/h para el T5 (Testigo). Los valores obtenidos de conductividad hidráulica mostraron un ligero aumento en todos los tratamientos con respecto al muestreo inicial. No hubo diferencias significativas en los tratamientos con alfa 0.05. Esto indica que el desarrollo radical de los tratamientos no tuvo efecto sobre esta variable en 6 meses.

Los resultados obtenidos de conductividad hidráulica en 6 meses no fueron concluyentes, esto se debe a que estos suelos por ser de textura arcillosa tienden a formar costras y sellos superficiales a su vez presentan arcillas de tipo 2:1 las cuales se expanden y contraen con las variaciones de humedad, (Laker y Nortjé, 2019). este efecto va acompañado de la acción dispersante del ion sodio el cual en concentraciones mayores a 1meq/100g de suelo y en una proporción mayor 3:1 sobre el calcio favorece la dispersión de las arcillas produciendo el sellado superficial, (Ramos et al., 2019; Shainberg y Levy,2020; Shainberg y Levy,2023) lo cual provoca problemas de entrada de agua en el suelo.

4. CONCLUSIONES

No se consiguió efecto de las raíces sobre las propiedades físicas densidad aparente, macroporosidad y conductividad hidráulica. Lo cual fue motivado al tiempo de duración del ensayo, por lo cual se sugiere que la experiencia se lleve a cabo por un lapso mínimo de tres años para el caso de nuestras condiciones climáticas.

Los procesos de degradación física son más intensos en los suelos vertisoles, debido a los procesos de sellado y encostramiento que afectan la estructura del suelo, proceso que puede ser potenciado por las condiciones climáticas y el manejo intensivo del suelo, caracterizado por el uso excesivo de maquinaria.

El uso de gramíneas es una alternativa viable para mejorar la calidad física del suelo, debido al efecto de la incorporación de materia orgánica y la formación de agregados asociado al afecto del desarrollo de las raíces, sin embargo, deben seleccionarse especies que se adapten a las condiciones de aridez imperantes en el semiárido venezolano.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, I., Sánchez, A., & Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. I. Análisis multivariado. *Bioagro*, 33(1), 59-66.

Balzarini, M., Di Rienzo, J., Tablada, M., Gonzalez, L., Bruno, C., Córdoba, M., ...

Revista CINTe: <https://cienciainteligente.com/index.php/CIN>
Volumen 1 Número 2 noviembre - diciembre (2023)
ISSN 2960-8449



- & Casanoves, F. (2012). Estadística y biometría. Ilustraciones del uso de Infostat en problemas de agronomía. Universidad Nacional de Córdoba.
- Jaimes, E. J., Pineda, N. M., & Mendoza, J. (2006). Homogeneidad mesoclimática de algunas zonas de vida de Venezuela. *Interciencia*, 31(11), 772-786.
- Laker, M. C., & Nortjé, G. P. (2019). Review of existing knowledge on soil crusting in South Africa. *Advances in agronomy*, 155, 189-242.
- Laker, M. C., & Nortje, G. P. (2020). Review of existing knowledge on subsurface soil compaction in South Africa. *Advances in agronomy*, 162, 143-197.
- Nosrati, K., & Collins, A. L. (2019). A soil quality index for evaluation of degradation under land use and soil erosion categories in a small mountainous catchment, Iran. *Journal of Mountain Science*, 16(11), 2577-2590.
- Orzech, K., Wanic, M., & Załuski, D. (2021). The effects of soil compaction and different tillage systems on the bulk density and moisture content of soil and the yields of winter oilseed rape and cereals. *Agriculture*, 11(7), 666.
- Pla, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista de la Facultad de Agronomía, Alcance*. 32: 1- 90.
- Ramos, M. C., Pareja-Sánchez, E., Plaza-Bonilla, D., Cantero-Martínez, C., & Lampurlanés, J. (2019). Soil sealing and soil water content under no-tillage and conventional tillage in irrigated corn: Effects on grain yield. *Hydrological Processes*, 33(15), 2095-2109.
- Shainberg, I., & Levy, G. J. (2020). Physico-chemical effects of salts upon infiltration and water movement in soils. In *Interacting processes in soil science* (pp. 37-93). CRC Press.
- Shainberg, I., & Levy, G. J. (2023). Infiltration and seal formation processes. In *Soil erosion, conservation, and rehabilitation* (pp. 1-22). CRC Press.
- Tian, B. G., Cheng, Q., Tang, C. S., Zeng, H., Xu, J. J., & Shi, B. (2022). Effects of compaction state on desiccation cracking behaviour of a clayey soil subjected to wetting-drying cycles. *Engineering Geology*, 302, 106650.
- Yáñez-Díaz, M. I., Cantú-Silva, I., González-Rodríguez, H., & Sánchez-Castillo, L. (2019). Effects of land use change and seasonal variation in the hydrophysical properties in Vertisols in northeastern Mexico. *Soil use and*
- Revista CINTE: <https://cienciainteligente.com/index.php/CIN>
Volumen 1 Número 2 noviembre - diciembre (2023)
ISSN 2960-8449



management, 35(3), 378-387.

Wang, Y. K., Zhang, Z. B., Jiang, F. H., Guo, Z. C., & Peng, X. H. (2021). Evaluating soil physical quality indicators of a Vertisol as affected by different tillage practices under wheat-maize system in the North China Plain. *Soil and Tillage Research*, 209, 104970.

100

Werner, L. M., Knott, M., Diehl, D., Ahmed, M. A., Banfield, C., Dippold, M., ... & Wimmer, M. A. (2022). Physico-chemical properties of maize (*Zea mays* L.) mucilage differ with the collection system and corresponding root type and developmental stage of the plant. *Plant and Soil*, 478(1-2), 103-117.