



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIOLOGÍA

Establecimiento de plantas de *Prosopis laevigata* y *Vachellia farnesiana*  
abonadas con lombricomposta en condiciones de invernadero

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

**P R E S E N T A:**  
**SAUCEDO VARGAS NAOMI ILIA**

DIRECTOR: DR. ARCADIO MONROY ATA

Investigación financiada mediante el proyecto PAPIIT IN218121 de la Dirección General  
de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), UNAM



CIUDAD DE MÉXICO

AGOSTO DE 2024



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS .....	4
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
RESUMEN .....	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
II. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Bioinsumos.....	9
2.1.2 Clasificación .....	9
2.1.2.1 Biofertilizantes.....	9
2.1.2.2 Bioplaguicidas / Biopesticidas.....	10
2.2 Lombricomposta.....	10
2.3 Beneficios de la lombricomposta.....	11
2.4 Beneficios al suelo.....	12
2.5 Efectos en la biota edáfica.....	12
2.6 Elementos constitutivos en la lombricomposta que favorecen al crecimiento vegetal.....	13
2.7 Efecto de la lombricomposta en el crecimiento de las plantas .....	14
2.8 Potencial uso de la lombricomposta.....	15
III. JUSTIFICACIÓN .....	16
IV. PROBLEMÁTICA.....	17
V. HIPÓTESIS .....	19
VI. OBJETIVOS .....	20
6.1 Objetivo general.....	20
6.2 Objetivos particulares .....	20
VII. MATERIAL Y MÉTODO .....	21
7.1 Sitio de estudio .....	21
7.2 Especies estudiadas.....	21
7.2.1 <i>Prosopis laevigata</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnston .....	21
7.2.2 <i>Vachellia farnesiana</i> (L.) Wight & Arn.....	24
7.3 Propiedades del suelo y lombricomposta .....	27
7.4 Preparación de los modelos experimentales.....	31
7.5 Germinación.....	32

7.6 Trasplante.....	33
7.7 Control de plagas .....	34
7.8 Variables de crecimiento .....	34
7.9 Variables medidas al final del periodo experimental .....	35
<b>VIII. ANÁLISIS DE LOS DATOS .....</b>	<b>41</b>
<b>IX. RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
9.1 Propiedades del suelo y lombricomposta .....	43
9.2 Germinación.....	44
9.3 Crecimiento de <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> .....	46
<b>X. DISCUSIÓN.....</b>	<b>57</b>
10.1 Propiedades del suelo y lombricomposta .....	57
10.2 Germinación .....	59
10.3 Crecimiento.....	59
<b>XI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>63</b>
<b>XII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>XII. REFERENCIAS .....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición fisicoquímica del Humus de Lombriz.....	11
Cuadro 2. Promedio de las biomásas totales, biomásas húmedas y secas de las partes aérea y radical en <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> para ambos tratamientos.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fotografía de <i>Prosopis laevigata</i> por Wynn Anderson .....	22
Figura 2. Pinnas y frutos de <i>Prosopis laevigata</i> .....	23
Figura 3. Fotografía de <i>Vachellia farnesiana</i> por Jack Dash .....	25
Figura 4. Pinnas de <i>Vachellia farnesiana</i> . .....	25
Figura 5. Flor y fruto de <i>Vachellia farnesiana</i> .....	26
Figura 6. Medición de la capacidad de campo del suelo .....	28
Figura 7. Medición del pH en suelo y lombricomposta .....	29
Figura 8. Kit de pruebas de NPK.....	30
Figura 9. Cuadro de Concentraciones de parámetros edáficos .....	31
Figura 10. Humus de lombriz comercial de la marca Hortaflores empleado en el experimento.....	32
Figura 11. Trasplante de <i>Prosopis laevigata</i> para ambos tratamientos.....	33
Figura 12. Trasplante de <i>Vachellia farnesiana</i> para ambos tratamientos.....	33
Figura 13. Medición de clorofila en <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> .....	35
Figura 14. Medición de la coloración de hojas en <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> .....	35
Figura 15. Medición de potencial hídrico foliar en <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> para ambos tratamientos .....	36
Figura 16. Extracción de ejemplares <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> de ambos tratamientos para realizar la medición de longitud de raíz, biomasa húmeda y seca.....	37
Figura 17. Medición de la longitud de raíz en <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> para ambos tratamientos. ....	38
Figura 18. Medición de la biomasa húmeda aérea y radical en <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> en ambos tratamientos.....	39
Figura 19. Medición de biomasa seca aérea y radical en <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> en ambos tratamientos.....	40
Figura 20. Resultados colorimétricos de los diferentes parámetros (pH, N, P, K y Blanco) en suelo.....	43
Figura 21. Resultados colorimétricos de los diferentes parámetros (pH, N, P, K y Blanco) en lombricomposta.....	44
Figura 22. Germinación de <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> .....	44
Figura 23. Porcentaje de geminación en <i>Prosopis laevigata</i> .....	45

Figura 24. Porcentaje de geminación en <i>Vachellia farnesiana</i> .....	45
Figura 25. Establecimiento de <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> con ambos tratamientos en el lapso de un mes.....	46
Figura 26. <i>Prosopis laevigata</i> Testigo, con pinnas pequeñas al inicio de su crecimiento.....	46
Figura 27. <i>Vachellia farnesiana</i> . En ambos tratamientos presentando pinnas pequeñas al inicio de su crecimiento.....	47
Figura 28. <i>Vachellia farnesiana</i> . En ambos tratamientos presentando estrés por radiación solar.....	47
Figura 29. Diagrama de cajas y bigotes de las alturas en <i>Prosopis laevigata</i> en ambos tratamientos .....	48
Figura 30. Diagrama de cajas y bigotes de las alturas promedio en <i>Vachellia farnesiana</i> en ambos tratamientos .....	48
Figura 31. Diagrama de cajas y bigotes del número de pinnas en <i>Prosopis laevigata</i> , para ambos tratamientos .....	49
Figura 32. Diagrama de cajas y bigotes del número de pinnas en <i>Vachellia farnesiana</i> , para ambos tratamientos .....	49
Figura 33. Diagrama de cajas y bigotes de la cobertura foliar de <i>Prosopis laevigata</i> , para ambos tratamientos.....	50
Figura 34. Diagrama de cajas y bigotes de la cobertura foliar de <i>Vachellia farnesiana</i> , para ambos tratamientos.....	50
Figura 35. Longitud de raíz de <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> en ambos tratamientos.....	51
Figura 36. Diagrama de cajas y bigotes de las concentraciones de clorofila en <i>Prosopis laevigata</i> , para ambos tratamientos.....	52
Figura 37. Diagrama de las concentraciones de clorofila en <i>Vachellia farnesiana</i> , para ambos tratamientos.....	52
Figura 38. Coloración de hojas en <i>Prosopis laevigata</i> , para ambos tratamientos..	53
Figura 39. Coloración de hojas en <i>Vachellia farnesiana</i> , para ambos tratamientos. ....	53
Figura 40. Potencial hídrico foliar en <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> , en ambos tratamientos.....	54
Figura 41. Cociente Raíz/Vástago de <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> , en ambos tratamientos.....	55
Figura 42. Tasa de crecimiento relativo en <i>Prosopis laevigata</i> y <i>Vachellia farnesiana</i> , en ambos tratamientos.....	56

## RESUMEN

La lombricomposta es un abono orgánico que beneficia al suelo ya que ayuda a retener humedad, controlar la erosión y la permeabilidad, reduce la densidad aparente, absorbe metales pesados, etc. También contribuye al desarrollo vegetal debido a que estimula el crecimiento por las enzimas y ácidos húmicos que contiene, permite tener acceso a nutrientes, reduce los patógenos y estimula el enraizamiento entre otros. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del abonado con lombricomposta en el establecimiento de *Prosopis laevigata* (mezquite) y *Vachellia farnesiana* (huizache) durante 6 meses en condiciones de invernadero.

El diseño experimental consistió en 20 repeticiones para cada tratamiento (10% lombricomposta y testigo, cultivadas en tierra de monte); para las dos especies. Las variables medidas semanalmente a las plantas fueron: altura, número de pinnas, cobertura y cada 14 días la concentración de clorofila y la coloración de las hojas; mientras que las variables de respuesta después de seis meses de cultivo fueron: potencial hídrico foliar, longitud de la raíz, biomasa húmeda y seca de las partes aérea y radical, biomasa húmeda total, biomasa seca total, coeficiente de raíz/vástago, tasa de crecimiento relativo en altura de las plantas. El análisis de los datos consistió en realizar pruebas t de Student, U de Mann-Whitney o Prueba de chi-cuadrada.

Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas en el tratamiento y testigo para ambas especies en todas las variables medidas, excepto en la longitud de raíz y la concentración de clorofila donde para ambos casos el tratamiento lombricomposta fue el más alto. El hecho de que no hubiera diferencias entre tratamientos para ambas especies se puede explicar por las propiedades físicas y químicas del suelo y la lombricomposta utilizados fueron similares. Por lo anterior se concluye que no hay una influencia determinante por la adición de lombricomposta en el crecimiento de ambas especies en el tiempo que duró el experimento, al emplear tierra de monte como sustrato. Finalmente, se recomienda seguir el registro de datos de desarrollo de las plantas durante al menos un ciclo anual, para que puedan trasplantarse a un sitio en rehabilitación ecológica.

## I. INTRODUCCIÓN

Los bioinsumos son productos de origen biológico (vegetal, animal o microbiano) usados para mejorar la productividad, sanidad o tolerancia al estrés en las plantas (Senillani *et al.*, 2023). Principalmente se emplean en la fertilización y en la nutrición de las plantas y suelos, además de mejorar la calidad de los suelos ( Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022). Algunos ejemplos de bioinsumos son: la composta, bocashi y lixiviado de lombriz entre los más conocidos. Pero el que toma relevancia en este trabajo es la lombricomposta, considerado de los mejores abonos orgánicos, el cual se genera mediante el lombricompostaje, un proceso biotecnológico de compostaje rápido, es decir las lombrices de tierra son usadas como agentes biológicos para transformar material orgánico del cual se alimentan y pasan a través de su intestinos desechando excretas o humus de lombriz; este último es capaz de proveer nutrientes y regular el crecimiento de plantas (Adhikary, 2012).

Ahiwar y Hussain (2015) han mencionado que frecuentemente la lombricomposta es utilizada para mejorar los cultivos de tomate, pimiento, maíz, papa. Rakesh *et al.* (2014) lo reportan en los cultivos de amaranto, fresa y berenjena; sin embargo, la lombricomposta ha sido mínimo su uso en especies silvestres, a pesar de tener documentado que ayuda a mejorar las condiciones de la germinación y establecimiento, por ejemplo: favoreciendo el crecimiento de la plántula debido a que ésta necesita diversas condiciones de humedad, temperatura, disponibilidad de nutrientes, entre otros (Quiroz y Rentería, 2002).

Por lo que toma relevancia investigar sus efectos sobre las especies silvestres como *Prosopis laevigata* y *Vachellia farnesiana*; las cuales han sufrido una explotación por su valor económico provocando una disminución en su población (Rivas *et al.*, 2005). Además, ambas especies son importantes en programas de reforestación urbana y de zonas semiáridas, son especies resistentes a las sequías (Villarreal *et al.*, 2013), son retenedoras del suelo y controlan la erosión, así como aportar materia orgánica y nitrógeno al suelo (Rodríguez *et al.*, 2014). El uso de la lombricomposta ayudaría en realizar un establecimiento vegetal exitoso de dichas plantas si se recurre a la lombricultura, donde De Gante Cabrera (2013) menciona que puede considerarse como una ecotecnia.

El presente estudio se centró en la evaluación del abonado con el 10% de lombricomposta en las especies *P. laevigata* y *V. farnesiana* respecto a un testigo durante 6 meses en condiciones de invernadero. Quiroz y Rentería (2002) mencionan que la implementación de la lombricomposta es favorable, porque no solo ayuda a controlar la erosión del suelo o aportar materia orgánica, sino mejora las condiciones de germinación y establecimiento vegetal, es decir donde las plántulas después de germinar ya no dependen de las reservas de sus hojas cotiledóneas y son capaces por sí mismas de fotosintetizar compuestos orgánicos (Torres, 2005).

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Bioinsumos

Son productos de origen biológico formulados con microorganismos (bacterias, hongos, virus), son utilizados para mejorar la productividad, la calidad y la salud de las plantas, así como en las características biológicas del suelo (Altier *et al.*, 2012).

Pueden cumplir diferentes propósitos al disponerse de ellos, por ejemplo, en el suelo participan en la nutrición vegetal (fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo y potasio), o en sistemas de remediación (Lagler,2017).

#### 2.1.2 Clasificación

Una manera para clasificar a los bioinsumos es dependiendo de su origen, el cual puede ser vegetal o microbianos o bien pueden clasificarse por el efecto que tienen sobre la planta por lo que se tienen dos grupos: Biofertilizantes y Biopesticidas (Mamani y Filippone, 2018). Otros autores como Bullor *et al.* (2023) menciona que su clasificación depende principalmente de dos factores el primero es de acuerdo con el principio activo que contenga, por lo que se puede diferenciar entre bioinsumos microbianos, botánicos, semiquímicos, entre otros; el segundo factor es la funcionalidad que diferencia bioplaguicidas, biofertilizantes, bioestimulantes y biorestauradores.

Para Aramendis *et al.* (2023) resulta difícil delimitar su funcionalidad principal, ya que pueden ser biofungicidas y bioestimulantes, por lo que pueden cumplir con más de una función, lo que conlleva a que no se tenga una definición consensuada de bioinsumos.

##### 2.1.2.1 Biofertilizantes

Son aquellos que nutren o alimentan a la planta o al suelo. Contienen diferentes principios activos desde sales minerales, aminoácidos libres, ácidos húmicos y fúlvicos, hormonas, e inclusive microorganismos (Mamani y Filippone, 2018). Los biofertilizantes al aplicarse al suelo o a las semillas, promueve el crecimiento vegetal, favorece el aprovechamiento de los nutrientes en asociación con la planta o su rizosfera (Altier *et al.*, 2012).

En este grupo se encuentran bacterias, hongos y algas o bien diferentes abonos orgánicos como por ejemplo lombricomposta, composta, biol y bocashi. Estos contribuyen a la fijación del nitrógeno atmosférico, solubilizan y movilizan nutrientes del suelo (Bullor *et al.*,2023).

### **2.1.2.2 Bioplaguicidas / Biopesticidas**

Son derivados de materiales naturales como animales, plantas, microorganismos y minerales (Nava *et al.*, 2012). Estos son utilizados en el control de fitopatógenos (hongos, oomicetes, bacterias, nemátodos y virus) y artrópodos (Bullor *et al.*, 2023).

Según Montesinos (2014), en este grupo se tienen bioplaguicidas microbianos que se obtienen del microbiota de las plantas o de insectos o nematodos infectados por patógenos, por lo que en este grupo se incluyen virus, bacterias, hongos y levaduras. Este autor también menciona que se tiene bioplaguicidas botánicos los cuales funcionan a partir de las algas o plantas que contienen principios activos antimicrobianos o insecticidas, o simplemente aquellas que son repelentes.

### **2.1.3 Ventajas y desventajas del uso de bioinsumos**

Según Bullor *et al.* (2023), los bioinsumos ayudan a regenerar la salud del suelo, preservar la biodiversidad, fijar carbono y disminuir el uso de agroquímicos, pero también presentan ciertos inconvenientes como perder efectividad al no ser almacenados o aplicados correctamente, o en algunos casos las empresas encargadas de su proceso de elaboración de dichos bioinsumos pueden llegar a presentar una calidad deficiente.

## **2.2 Lombricomposta**

La lombricomposta es la excreta de la lombriz, la cual es capaz de mejorar el suelo y el estado de los nutrientes (Adhikary, 2012). Se trata de un proceso en el cual se lleva a cabo la degradación biológica y la estabilización de desechos orgánicos por lombrices y microorganismos para formar lombricomposta (Manyuchi y Phiri, 2013). Generalmente se utiliza la lombriz roja californiana *Eisenia foetida* (Pérez y Herrera, 2022; Ormeño y Valle, 2007; Yugsi, 2011) cuya función es alimentarse de desechos orgánicos que pasan por su intestino y transforma dichos desechos en vermicasts o mejor conocido como humus (Nagavallema *et al.*, 2006). Para cuando los desechos orgánicos sean excretados por las lombrices en forma de humus, serán ricos en nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), micronutrientes, bacterias fijadoras de nitrógeno, hormonas de crecimiento como auxinas, giberelinas y citoquininas (Kaur, 2020).

El carbono orgánico que se encuentra en este abono libera los nutrientes de forma lenta y constante en el sistema, permitiendo que la planta los absorba (Ansari y Ismail, 2012). Además, posee hormonas de crecimiento para los cultivos, así como enzimas y una alta población microbiológica benéfica y libre de patógenos (Ruiz, 2011). Por lo que Blouin *et al.* (2019) enfatiza que la lombricomposta es una solución para reciclar la creciente cantidad de residuos orgánicos, estabilizar la materia orgánica e incrementar la producción de biomasa de las plantas, disminuir la densidad aparente del suelo, así como incrementar la disponibilidad de agua y nutrientes minerales en este.

## 2.3 Beneficios de la lombricomposta

Este abono permite realizar una conversión eficiente de desechos orgánicos, residuos de cultivos y animales; además de no presentar elementos tóxicos o semillas de malezas, prevenir la pérdida de nutrientes y reducir la población de microbios patógenos (Ahiwar y Hussain, 2015).

De acuerdo con Gutiérrez y Herrán (2014), su proceso de elaboración es rápido y continuo, además de ser un abono orgánico de magnífica calidad debido a su composición fisicoquímica (cuadro 1), por lo que permite el desarrollo de las plantas. También el uso de la lombriz de tierra para elaborar la lombricomposta conlleva a un papel importante en la formación y fertilidad del suelo, porque son las lombrices las encargadas de producir ciertos metabolitos, liberar auxinas y citoquinas que estimula el crecimiento de las plantas (Ansari y Ismail, 2012).

Aunque este abono no solo permite el desarrollo de las plantas, sino que también ayuda a proteger a las plantas de microorganismos destructivos como bacterias, nematodos, hongos y patógenos vegetales. (Adhikary, 2012; Toor y Kizilkaya, 2022). Al adicionarlo al suelo se incrementa la diversidad microbiana, por un rango más amplio de microorganismos y éstos pueden actuar como agentes controladores contra diferentes plagas en plantas, ya que se ha sugerido que los posibles mecanismos de supresión de enfermedades están basados en la competencia entre microorganismos por los nutrientes y la energía (Villegas y Laines, 2017).

Según la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (2022), la lombricomposta presenta ciertas ventajas entre ellas están estimular el enraizamiento, las plantas puedan asimilar fácilmente este abono, neutraliza restos de insecticidas o herbicidas del suelo, poseer ácidos fúlvicos.

Cuadro 1. Composición fisicoquímica del Humus de Lombriz. Recuperada de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737318/14\\_Humus\\_de\\_lombriz.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737318/14_Humus_de_lombriz.pdf)

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Nitrógeno total	De 1 a 4% (base seca)
Materia Orgánica	De 20% a 50% (base seca)
Relación C/N	≤20
Humedad	De 20 a 40% (sobre materia húmeda)
pH	De 5.5 a 8.5
Conductividad eléctrica	≤ 4 dS m <sup>-1</sup>
Capacidad de intercambio catiónico	>40 cmol kg <sup>-1</sup>
Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico)	0.40 a 0.90 gmL <sup>-1</sup>
Materiales adicionales	Ausente

## 2.4 Beneficios al suelo

Se menciono brevemente algunos beneficios que proporciona la lombricomposta en el suelo como retener agua, aumento en la porosidad y aireación. Ansari y Ismail (2012) explican que la lombricomposta al ser una materia orgánica granular fina estable, que al agregarse al suelo arcilloso incrementa la porosidad del suelo y mejora el paso para la entrada de aire.

Su uso como fertilizante orgánico libera lentamente sus elementos nutritivos; los cuales se mezclan con el suelo y ayuda a la transformación de los elementos minerales nutritivos en elementos inorgánicos disponibles para la planta (Quiroz y Rentería, 2002). Enriquecen la estructura del suelo con alto contenido de carbón orgánico (Edwards y Bohlen, 1996; Parthasarathi *et al.*, 2007; citado en Ceritoğlu *et al.*, 2018), además de incrementar el contenido de nitrógeno(N), fósforo (P) y potasio (K) y la composición de oligoelementos (Manyuchi y Phiri, 2013). Su aplicación tiene un impacto positivo en la población microbiana y la actividad de las enzimas del suelo (Maheswarappa *et al.*, 1999; citado en Toor y Kizilkaya, 2022).

La lombricomposta es reguladora del pH en el suelo ya que Manyuchi y Phiri (2013) reportan un valor cerca de siete. Su efecto sobre el suelo permite una estructura esponjosa, mejora la densidad aparente y real, la porosidad aumenta la estabilidad de los agregados (Moradi *et al.*, 2014). Argüello *et al.* (2006) citado en Ceritoğlu *et al.* (2018) la lombricomposta incrementa la conductividad eléctrica sin causar problemas de salinidad.

Por otra parte, tiene la capacidad de absorber metales pesados como plomo y arsénico, aumenta la unión de todas las partículas en los suelos arenosos (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022). Así mismo Vuković *et al.* (2021) argumentan que puede aplicarse en suelos perturbados por erosión, compactación o contaminación.

## 2.5 Efectos en la biota edáfica

La lombricomposta presenta condiciones que no solo benefician a las plantas o al suelo sino también a la biota edáfica, debido a que es un proceso de degradación mesofílico por lo que se incrementa la actividad microbiana y su diversidad (Fracchia *et al.*, 2006 citado en Ceritoğlu *et al.*, 2018). Las lombrices estimulan en gran medida la actividad microbiana y aumentan las tasas de mineralización (Ansari y Ismail, 2012).

Su aplicación mejora las propiedades biológicas del suelo, aumentando la biomasa y actividad microbiana, así como la estructura de las poblaciones microbianas (Knapp, 2010 citado en Moradi *et al.*, 2014). La lombricomposta es rica en poblaciones y diversidad microbiana (Edwards, 1998; Tomati, 1987 citado en Moradi *et al.*, 2014), encontrando así hongos micorrízicos (propagados en el suelo por las lombrices de tierra), bacterias, actinomicetos *Rhizobium japonicum*,

*Pseudomonas putida*, *Azospirillum*, *Azobacter*, *Nitrobacter* y *Nitrosomas* (Rakesh *et al.*, 2014).

## **2.6 Elementos constitutivos en la lombricomposta que favorecen al crecimiento vegetal**

El alto valor nutricional que presenta difiere notablemente de las compostas tradicionales debido a que las lombrices procesan la materia orgánica además de liberar en el suelo metabolitos, como vitamina B y sustancias similares (Rakesh *et al.*, 2014).

Entre los nutrientes que contiene se hayan nitratos, magnesio, potasio, calcio intercambiable y potasio soluble, producción de citoquininas, proteasas, amilasa, lipasas, auxinas y fósforo el cual es un factor limitante para el crecimiento de las plantas y el menos móvil, por tanto, las bacterias solubilizadoras de fosfato juegan un papel importante en el suministro de éste (Rakesh *et al.*, 2014). En el trabajo de Ceritoğlu *et al.* (2018), señalan que durante el proceso de lombricompostaje se obtienen vitaminas, sustancias húmicas, enzimas y antioxidantes, además de liberarse ácidos orgánicos como el ácido malónico o fumárico los cuales ayudan a disolver los nutrientes y convertirlos en una forma viable.

Toor y Kizilkaya (2022), los ácidos húmicos, enzimas y humatos que se encuentran en la lombricomposta, son la causa de la respuesta del crecimiento de las plantas y por otra parte las auxinas y citocinas que contiene mejoran la germinación de semillas, el crecimiento y desarrollo de las plántulas. Dichos elementos se van liberando lentamente a la planta cuando éste es adicionado a medida que ésta los va necesitando (Chaoui *et al.* 2003 citado en Domínguez *et al.*, 2010).

Los ácidos húmicos están formados por la asociación de moléculas orgánicas, que pueden disociarse en fracciones de mayor o menor peso molecular; pero son las fracciones de menor peso molecular que cuando son absorbidas alcanzan la pared celular de las plantas más fácilmente, y es en éstas que se han encontrado adsorbidas ciertas fitohormonas como el ácido indol acético el cual ayuda a la formación y crecimiento de raíces laterales e incrementar la absorción de nutrientes (Domínguez, Lazcano y Gómez, 2010). Es importante considerar la cantidad de lombricomposta agregada al suelo, ya que en las plantas se muestra un aumento en el crecimiento cuando se tiene una concentración menor de ácidos húmicos; sin embargo, a una concentración mayor de estos se observa una disminución en su crecimiento (Arancon y Edwards, 2005)

## 2.7 Efecto de la lombricomposta en el crecimiento de las plantas

Blouin *et al.* (2019) reportaron que la adición de lombricomposta en cultivos provoca un aumento en el total de biomasa, así como en biomasa del brote y la biomasa de la raíz especialmente en algunas familias como son Fabaceae, Cucurbitaceae y Asteraceae, aunque parece ser que las fabáceas son las plantas que mejor responden a este abono en cuanto al desarrollo de brotes y raíces. Siendo así que Ceritoglu *et al.* (2021) mencionan que las especies *Lens culinaris* L, *Cicer arietinum* L, *Glycine max* L., *Pisum sativum* L. presentaron un aumento en la biomasa seca de raíz y brotes usando concentraciones del 10 y 20%.

Para la familia Asteraceae, la especie *Calendula officinalis* presentó un aumento en la longitud de raíces laterales, mayor biomasa en el peso fresco de pétalos y vástago además de tener un efecto significativo en los pigmentos fotosintéticos a partir de diferentes concentraciones de lombricomposta (Sardoei, 2014)

Si bien se tiene antecedentes del efecto de la lombricomposta sobre la biomasa, también presenta un amplio rango de efectos benéficos sobre las plantas entre ellos favorecer el crecimiento, productividad, estimular el desarrollo de brotes y raíces, incrementar la germinación de semillas, área foliar, tasa fotosintética entre otros (Vuković *et al.*, 2021). Otros efectos que se tienen en la planta a partir de su aplicación es el incremento en la altura del tallo, número de hojas, peso seco de hojas, longitud de la raíz, contenido de clorofila, contenido de carbohidratos y proteínas (Rakesh *et al.*, 2014).

Algunos casos documentados donde el uso de lombricomposta fue favorable es en la planta de frijol, la cual mostró un aumento en la nodulación, materia seca tanto en vástago y raíz al usar una cantidad del 50% (Díaz y Díaz, 2009), o por ejemplo en las plántulas de maíz la lombricomposta ha promovido la emergencia de raíces laterales (Elissen, Vander Weide y Gollenbeek, 2023).

En la especie *Cicer arietinum* L., el uso de dos tipos de lombricomposta a concentraciones del 10 y 20 %, donde la primera fue elaborada con estiércol de vaca y la segunda con residuos de comida industriales y estiércol de vaca, se encontró un aumento en la altura, biomasa húmeda del vástago y de la raíz, así como el incremento en el contenido de proteínas alcanzando 5.83 % mg/g además de obtener un mayor contenido de clorofila a y b en las hojas (Yadav y Garg, 2015)

Joshi y Vig (2010) reportan que en la planta de tomate *Lycopersicon esculentum* L. se obtuvo mayor número de hojas (104), así como una mayor altura, número de frutos y en la relación raíz / vástago usando 2.5% de lombricomposta.

También cabe recalcar que el nitrógeno disponible como nitritos es mayor en la lombricomposta que en los compost convencionales (Thakur *et al.*, 2021). Por ello, una mayor disponibilidad de este elemento provoca el aumento en el crecimiento de las hojas y la absorción de luz, lo que implica mayor cantidad de biomasa y rendimiento (Rakesh *et al.*, 2014). La lombricomposta presenta valores de pH entre 6 y 7 lo cual, promueve la disponibilidad y absorción de nutrientes para las plantas (Vuković *et al.*, 2021).

## 2.8 Potencial uso de la lombricomposta

Aunque el empleo de este biofertilizante es orientado a la producción agrícola, puede ser utilizado en proyectos de reforestación o restauración del suelo por ejemplo en el trabajo de Quiroz y Aparicio (2002) utilizan la lombricomposta de pulpa de café junto con suelo de bosque y arena de mina cada uno en diferentes proporciones para conformar un sustrato óptimo para la germinación y el crecimiento de *Pinus oaxacana* y *Pinus rudis* con la finalidad de utilizar la lombricomposta como opción en la reforestación y evitar el uso de suelo de bosque, disminuyendo su extracción, dichos autores recomiendan que un sustrato compuesto del 30% arena de mina, 40% suelo de bosque y 30% lombricomposta favorece el crecimiento en altura para la especie *Pinus oaxacana*; mientras que para *Pinus rudis* consiste en utilizar el 30% de arena de mina, 20% de suelo bosque y 50% lombricomposta.

En el trabajo de Retureta *et al.* (2014) realizaron una comparación del uso de sustratos tierra negra, lombricomposta, peat moss en diferentes proporciones para evaluar el porcentaje de germinación, altura, peso de la biomasa de hojas, tallos y raíces, retención de humedad y porcentaje de materia orgánica, en la especie de caoba *Swietenia macrophylla* King con la finalidad de ser utilizadas para la reforestación del río Michapan de Acayucan, Veracruz; por lo cual se obtuvo que una mezcla del 33% de cada sustrato: tierra negra, peat moss y lombricomposta mostró resultados favorables específicamente en las variables de germinación, biomasa de hojas, tallos y raíces y retención de humedad.

Correa *et al.* (2013) proponen que la elaboración de lombricomposta utilizando la maleza acuática de canales y el lirio acuático de Laguna de Yuriria para disminuir la extracción de la tierra de monte que presenta un valor económico en la producción de plantas de ornato, viveros, invernaderos o de consumo doméstico.

De acuerdo, al Programa Estrategia Nacional de Suelo para la Agricultura Sostenible (ENASAS) promovido por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023) tiene como objetivo fomentar el manejo sostenible de los suelos agropecuarios del territorio nacional por lo que principalmente se enfoca en la Restauración de suelos degradados o el manejo sostenible de los suelos y para ello se proponen diferentes prácticas y proyectos que son coordinados por el Comité Sectorial de Suelo para la Agricultura Sostenible (COSESAS), dentro de estas prácticas y proyectos no se contempla el uso de la lombricomposta; pero si el uso de compost, hongos micorrízicos y de bacterias fijadoras de nitrógeno.

### III. JUSTIFICACIÓN

La lombricomposta proporciona nutrientes de lenta liberación y mejoran las condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo, además de facilitar el desarrollo de las plantas (López *et al.*, 2012). Por lo que su implementación mostraría un desarrollo óptimo en especies silvestres tales como *Prosopis laevigata* y *Vachellia farnesiana* ya que ambas son de la familia Fabácea y según Blouin *et al.* (2019) se ha demostrado la lombricomposta tienen un efecto en dicha familia sobre los valores de biomasa aérea y radical. Ceritoglu *et al.* (2021) han documentado el efecto de la lombricomposta en dicha familia.

La importancia de trabajar con estas especies yace en que han presentado una disminución en zonas áridas y semiáridas debido a la sobreexplotación por razones económicas y su desinterés en su conservación, así como un manejo inadecuado (García *et al.*, 2023), además de que se han visto afectadas por factores limitantes como nutrientes, sequía, herbívora, radiación, erosión y salinidad de los suelos, que han impedido su propagación (Arámbula, 2005; Ruiz, 2008). Por lo que esta investigación ayudaría a recabar información acerca del efecto de este abono para ambas especies usando una cantidad del 10% de lombricomposta en condiciones de invernadero.

El aprovechamiento de este abono ayudaría a disminuir la cantidad de residuos orgánicos que son generados, ya que en México el 60 % de dichos residuos son botados en terrenos, barrancos o arrojada en ríos (Capistrán, Aranda y Romero, 2001); además, si se toma en cuenta que en la elaboración de lombricomposta permite aprovechar y reciclar los desechos orgánicos, ya que se pueden usar una amplia gama de desechos como estiércoles de porcinos, aves o herbívoros, restos de podas, rastrojos, brozas, hojas, papeles y cartones, desechos agroindustriales, desechos urbanos, desechos de la industria láctea entre otros. (Schuldt, 2006).

La lombricomposta beneficiaría a que sea considerada para desarrollar investigaciones en proyectos de restauración y remediación del suelo, por los antecedentes que se tienen como en la reducción de la erosión edáfica, mejorar la retención de la humedad y la estructura de los suelos; también, eliminar metales pesados (Manyuchi y Phiri, 2013). Además, Quiroz y Rentería (2002) presentan a este abono como una alternativa de sustrato para la propagación de plantas en viveros, argumentando que su implementación ayudaría a evitar el uso de suelo extraído de bosques.

## IV. PROBLEMÁTICA

Las especies *Prosopis laevigata* y *Vachellia farnesiana* tienen una relevancia ecológica, ya que se utilizan en programas de restauración y rehabilitación ambiental, además desarrollan importantes asociaciones con polinizadores, dispersores de semillas, hongos micorrízicos y con otras especies vegetales, sin embargo, presentan una alta tasa de explotación debido a la producción de carbón principalmente y de leña (Villareal *et al.* 2013). Dichas especies, al tener también un valor económico han sido objeto de extracción irracional de su madera, lo que ha conducido a una disminución de sus poblaciones silvestres (Rivas *et al.*, 2005). Otra causa de sobreexplotación ha sido porque ambas especies son multiusos, es decir, se colectan, flores, frutos, follaje, goma que exuda el mezquite (Rodríguez *et al.* 2014).

De la misma manera, Cuéllar *et al.* (2017); Pérez *et al.* (2021) y González *et al.* (2021) mencionan que en México las poblaciones de mezquite han disminuido debido a la tala excesiva, incendios forestales, cambios en el uso de la tierra, la reducción y fragmentación de áreas conservadas, así como la falta de planes de manejo sostenible.

Actualmente es en la zona del Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo, que se encuentra en grave estado de deforestación, por tala de plantas leñosas como es el mezquite y huizache, principalmente con la finalidad de obtener madera y leña o poder cultivar plantas anuales provocando la pérdida de fertilidad del suelo y cambios en el paisaje del valle (Paz, 2021). Por ello, es relevante establecer programas de propagación de plantas leñosas dominantes de zonas semiáridas, con el fin de trasplantarlas a sitios deforestados.

Asimismo, la lombricomposta es considerada un excelente abono orgánico, porque mejora el crecimiento de las plantas y el rendimiento en general (Toor y Kizilkaya, 2022). Su utilización presenta una alternativa de sustrato que proporciona las condiciones necesarias para favorecer la nutrición y el desarrollo de ambas especies, por lo que el adicionar un 10% de lombricomposta a los sustratos de crecimiento inicial de plantas, con el propósito de que obtengan los nutrientes necesarios y puedan crecer adecuadamente.

Por ello, es conveniente cultivar plantas con el fin de trasplantarlas a sitios donde hay factores limitantes para la vegetación, como es el caso de las zonas áridas y semiáridas, donde hay erosión del suelo y escasez de agua (Arámbula, 2005), así como exceso de radiación solar y escasez de nutrientes, los cuales son factores estresantes para la reproducción y desarrollo de las especies vegetales (Flores, 2016).

Por lo anterior, el uso de este abono favorecería el establecimiento vegetal de mezquites y huizaches en zonas donde han mermado sus poblaciones. Es por lo cual este estudio se concentró en responder las siguientes interrogantes:

- ¿El tratamiento con lombricomposta mostrará una diferencia en el desarrollo y crecimiento de ambas especies?
- ¿Existen diferencias en la tasa de crecimiento relativo en altura de las especies analizadas, entre el tratamiento con lombricomposta y el testigo?
- ¿Las biomásas húmeda y seca de las partes radical y área, será mayor en el tratamiento con lombricomposta para ambas especies?

## V. HIPÓTESIS

La lombricomposta es un abono que contiene diversos micro y macronutrientes, que promueven el crecimiento de las plantas, por ello los individuos de *Prosopis laevigata* y *Vachellia farnesiana* que se desarrollen en un sustrato con lombricomposta, tendrán un incremento significativo en la tasa de crecimiento relativo, biomasa húmeda y seca de las partes radical y aérea, con respecto al testigo.

## VI. OBJETIVOS

### 6.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del abonado con lombricomposta en el establecimiento de *Prosopis laevigata* y *Vachellia farnesiana* durante 6 meses en condiciones de invernadero.

### 6.2 Objetivos particulares

- Registrar el efecto de la lombricomposta en la altura y la cobertura de las plantas de las dos especies.
- Medir la concentración de clorofila y coloración de hojas de cada especie con el tratamiento lombricomposta y testigo.
- Evaluar el potencial hídrico foliar, biomasa húmeda y seca (aérea y radical), el cociente raíz-vástago, así como la tasa de crecimiento relativo de las plantas.
- Medir las propiedades físicas y químicas: densidad aparente, densidad real, capacidad de campo, pH, conductividad eléctrica y contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en muestras individuales de suelo y lombricomposta.

## VII. MATERIAL Y MÉTODO

### 7.1 Sitio de estudio

Se llevó a cabo en un invernadero ubicado en las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza *Campus II* con las coordenadas 19° 22.389´ N; 99° 01.990´ WO.

### 7.2 Especies estudiadas

#### 7.2.1 *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnston

Sinónimo de *Acacia laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd, *Algarobia dulcis* (Kunth) Benth, *Mimosa laevigata* (Humb. y Bonpl. ex Willd.) Poir., *Neltuma attenuata* Britton y Rose, *Neltuma laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton y Rose, (Tropicos, 2024). Perteneciente a la familia Fabaceae y comúnmente es conocida como mezquite o algarrobo (Hernández *et al.*, 2021).

Es un árbol con ramas espinosas, hojas minúsculas y flores acomodadas en racimos (Paz, 2021); puede llegar a medir 13 m de altura y con un diámetro de hasta 80 cm (Figura 1) (CONABIO, CONAFOR, s.f.). El sistema radical de esta planta es amplio y profundo, la raíz principal puede alcanzar profundidades de más de 50 m, mientras que sus raíces laterales se extienden hasta 15 m (Hernandez *et al.*, 2021). Como se observa en la figura 2a presenta hojas compuestas, bipinnadas con uno o dos pares de pinnas con 12 a 15 pares de folíolos oblongos o lineares, flores de color amarillo verdoso, el fruto es una vaina de color amarillo de hasta 17 cm de largo de forma levemente curva (Figura 2b) (Rodríguez *et al.*, 2014).

Esta planta silvestre habita en climas semisecos y templados entre los 1000 y los 1800 msnm, se encuentra asociada al matorral xerófilo, pastizal, bosques de encino y de pino (Biblioteca Digital de la Medicina tradicional mexicana; UNAM 2009). Tiene una distribución amplia principalmente en las zonas áridas y semiáridas de América (Sauceda *et al.* 2014 citado en Gonzáles *et al.*, 2021). Se distribuye geográficamente en casi todo México (norte, centro y sur) (Paz, 2021); principalmente se encuentra en la vertiente del pacífico desde Michoacán hasta Oaxaca y en la del Golfo de México en Nuevo León, Tamaulipas, y el norte de Veracruz. Preponderantemente en San Luis Potosí, Guanajuato, Zacatecas, Durango, Coahuila; también se han reportado poblaciones en Hidalgo (CONABIO, CONAFOR, s.f.)

Es una especie de importancia ecológica debido a que fija el nitrógeno atmosférico al suelo (Gonzales *et al.*, 2020); lo cual facilita que otras plantas se

puedan desarrollar a su alrededor, permite la recarga de agua del manto freático (Paz, 2021). Proporciona alimento y refugio a la fauna silvestre; y actúa como indicador de profundidad del manto freático (Rodríguez *et al.*, 2014).

Es un recurso económico valioso ya que se obtiene leña, carbon, materiales para construcción, alimento para pequeños rumiantes en pastoreo (Rivas *et al.*, 2005); además proporciona diversos alimentos entre ellos la miel, aunque esta también es usada con fines medicinales porque contiene agentes antioxidantes, antiinflamatorios y antisépticos, otros alimentos que se pueden elaborar con esta planta son atoles, bebidas, panes, pastas y helados utilizando el fruto (Luna *et al.*, 2022)

La población utiliza diferentes partes de este árbol para tratar malestares o enfermedades por ejemplo hervir la corteza para tratar afecciones de los ojos, si se padece de salpullido, se toma un baño con agua en la cual se hirvieron las flores o comer la resina de la planta para tratar la tosferina, fiebre, dolor de muelas, ronquera y faringitis (Biblioteca Digital de la Medicina tradicional mexicana; UNAM 2009).



Figura 1. *Prosopis laevigata*. Foto de Wynn Anderson (2014). Recuperada de [https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img\\_query?enlarge=0000+0000+0314+1333](https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?enlarge=0000+0000+0314+1333)



Figura 2. *Prosopis laevigata* a) Pinnas b) Fruto. Fotografías de Wynn Anderson ,2017, 2014.  
Recuperadas de  
[https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img\\_query?enlarge=0000+0000+0917+2753](https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?enlarge=0000+0000+0917+2753)  
[https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img\\_query?enlarge=0000+0000+0314+1334](https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?enlarge=0000+0000+0314+1334)

### 7.2.2 *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn.

Sinónimo de *Acacia edulis* Humb. & Bonpl. ex Willd, *Acacia farnesiana* (L.) Willd. *Acacia lenticellata* F. Muell. *Farnesia odora* Gasp, *Mimosa farnesiana* L., *Poponax farnesiana* (L.) Raf., *Poponax venosa* Britton ex Britton & Killip, *Vachellia densiflora* Alexander ex Small (Tropicos, 2024). Es llamada localmente como huizache; guizache; espino y espino blanco (Azimova y Glushenkova, 2012).

Crece en forma de arbusto o árbol con una altura de hasta 4 m (Figura 3), sus hojas son compuestas, bipinnadas con dos a ocho pares de pinnas; las pinnas presentan folíolos en 10 a 21 pares oblongos o lineares (Figura 4) (Uji y Touran, 1999); las flores son de color amarillo brillante o amarillo anaranjado, el fruto es una vaina recta o curva de color oscuro marrón a negruzco que mide entre 1.5 a 8.5 cm de largo (Figura 5) (Erkovan *et al.*, 2016). Sus raíces crecen de manera vertical y toman el agua del subsuelo (CONABIO, CONAFOR, s.f.)

Habita en climas cálido, semicálido y templado, desde el nivel del mar hasta los 2000 m; puede llegar a encontrarse en vegetación perturbada de sabana, manglar, bosque espinoso, pastizal, bosque mesófilo de montaña, bosque de encino y de pino (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana; UNAM, 2009). Pero principalmente se encuentra en zonas áridas, selva tropical caducifolia, matorrales (Heike, 2009).

Su distribución abarca el Valle de México, Baja California Norte, Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Veracruz, Yucatán, Zacatecas (Illescas *et al.*, 2021)

Se considera como una especie útil para rompevientos, reforestación de bosques secos y áreas de pastizales degradados y para la estabilización de arenas móviles en regiones semi-áridas (Parrotta, 2000). Tiene un papel ecológico importante ya que es fijadora de nitrógeno, previene la erosión del suelo, promueve el crecimiento de matorrales asociados a ella; aunque también presenta un valor económico debido a su uso ornamental, para curtir, elaborar perfumes utilizando el aceite que contiene y extracción de leña (Illescas *et al.*, 2021)

De acuerdo con la página Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana; UNAM (2009), esta planta es usada para curar la diarrea, tifoidea, bazo crecido, catarro, inflamación de garganta, heridas, llagas, corazón débil, dolor de cabeza, nubes en los ojos; por ejemplo, al utilizar la corteza para aliviar dolores de estómago constantes, elaborar un té a partir de sus raíces para el empacho.



Figura 3. *Vachellia farnesiana*. Foto de Jack Dash (2020). Recuperada de <https://swbiodiversity.org/seinet/taxa/index.php?taxon=acacia%20farnesiana>



Figura 4. Pinnas de *Vachellia farnesiana*. Fotografía de Liz Makings. Recuperada de <https://swbiodiversity.org/seinet/taxa/index.php?taxon=acacia%20farnesiana>

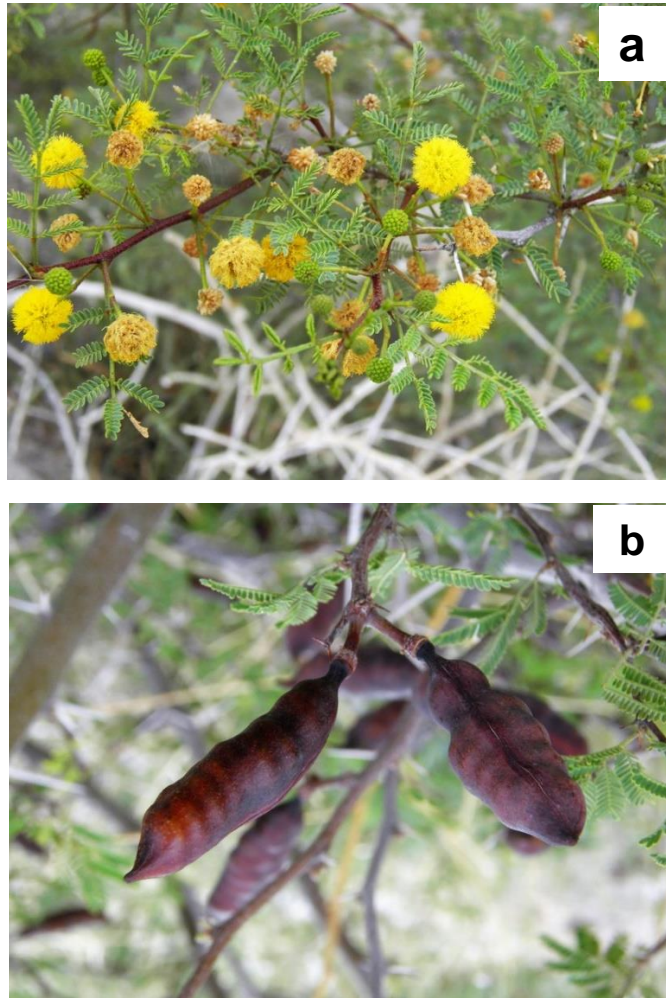


Figura 5. *Vachellia farnesiana* a) Flores; b) Fruto. Fotografías de Wynn Anderson (2017)  
Recuperado de [https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img\\_query?enlarge=0000+0000+1117+1363](https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?enlarge=0000+0000+1117+1363)

### 7.3 Propiedades del suelo y lombricomposta

Antes de la preparación de los modelos experimentales se tomaron muestras de suelo previamente tamizado utilizando un tamiz de 2 mm de la marca Montinox y lombricomposta (sin mezclar con el suelo), para evaluar las siguientes propiedades físicas y químicas: densidad aparente, densidad real, capacidad de campo, pH, conductividad eléctrica; solamente el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) fue realizado al finalizar el experimento.

Para conocer el valor de la densidad aparente (DA) en el suelo y lombricomposta se realizó el método de la probeta que consistió en pesar en una balanza analítica marca OHAUS; modelo YS Series, una probeta vacía de 100 mL, posteriormente se agregó el suelo tamizado a la probeta hasta la marca de 100 mL, una vez agregado se tomó la probeta con suelo y se dio un golpe en una superficie plana y se repitió este paso tres veces con el fin de compactar el suelo y medir el volumen total ocupado, por último se registró el peso de la probeta con suelo (Rojas y Peña, 2012; Atarés, 2015). Finalmente, la DA se calculó como:

$$DA = \frac{\text{Peso de la probeta con suelo} - \text{peso de la probeta vacía}}{\text{volumen total}}$$

La densidad real se obtuvo a partir de registrar cuatro diferentes pesos de un matraz volumétrico de 10 mL usando una balanza analítica marca OHAUS; modelo YS Series. El primero fue el peso del matraz vacío, el segundo fue el peso del matraz aforado con agua destilada, el tercero fue el peso del matraz que contenía cinco gramos de suelo tamizado, para el último registro se agregó al matraz cinco gramos de suelo tamizado más 5 mL de agua destilada, posteriormente se agitó durante 30 minutos; al cabo de este tiempo se aforó el matraz y se tomó el peso (Sánchez, 2014). Se realizó nuevamente el procedimiento anterior, pero usando lombricomposta, una vez obtenido los cuatro pesos necesarios de cada muestra la densidad real (DR) se calculó con la siguiente ecuación:

$$DR = \frac{C - A}{[(C - A) + (B - A)] - (D - A)}$$

En donde:

A= Peso del matraz

B= Peso del matraz con agua

C= Peso del matraz con suelo y

D= Peso del matraz con suelo y agua

La capacidad de campo solamente se calculó en el suelo, para ello se colocó 100 g de suelo tamizado y seco al aire sobre un papel filtro y que posteriormente se

registró su peso utilizando una balanza analítica marca OHAUS; modelo YS Series. Una vez pesado se colocó el papel filtro y el suelo en un embudo; el embudo se puso sobre un matraz Erlenmeyer de 250 mL, una vez colocados se agregó 100 mL de agua destilada y se dejó en reposo por 48 horas con la finalidad de eliminar el excedente de agua por gravedad, pasado el lapso se registró el peso del papel filtro con suelo húmedo y por último se registró el peso del papel filtro sin suelo húmedo como se observa en la figura 6 (Rios, 1985).

Se calculo la capacidad de campo de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\%H_2O \text{ a capacidad de campo} = \frac{(B - A) - (C - A)}{(C - A)} \times 100$$

En donde:

A= Peso del papel filtro

B= Peso del papel filtro + suelo húmedo y

C= Peso del papel filtro + suelo seco.



Figura 6. Medición de la capacidad de campo del suelo

El valor del pH se obtuvo realizando el siguiente procedimiento: se pesaron diez gramos de la muestra a analizar (suelo tamizado o lombricomposta) en una balanza analítica marca OHAUS; modelo YS Series, posteriormente se colocó la muestra en un vaso de precipitados de 150 mL y se añadió 50 mL de agua destilada, se tomó una varilla de vidrio para agitar la muestra y el agua destilada, posteriormente se midió el pH con un potenciómetro calibrado marca Condructonic; modelo PC18, como se observa en la figura 7 (Martínez y Herrera, 2018).



Figura 7. Medición del pH en (izquierda) suelo y (derecha) lombricomposta

Para la conductividad eléctrica se pesó 250 g de suelo tamizado en una balanza analítica marca OHAUS; modelo YS Series, posteriormente el suelo se colocó en un vaso de precipitados de 400 mL. Se añadió agua destilada y con una espátula se revolvió hasta formar una pasta, la cual fue filtrada para determinar la conductividad eléctrica usando un medidor de conductividad marca Condructonic; modelo PC18 (Benton, 2001). De igual forma se repitió el procedimiento anterior, pero usando 250 g de lombricomposta para conocer el valor de su conductividad eléctrica.

Por último se usó un kit de prueba rápida (Figura 8), proporcionado por el laboratorio de Ecología Vegetal de la FES Zaragoza Campus II. Con la finalidad de evaluar el contenido de N, P y K por lo que se realizaron los siguientes procedimientos:

En la medición de N se utilizaron dos gramos de muestra: lombricomposta (sin mezclar con el suelo) secada al aire y suelo tamizado secado al aire; se colocó cada muestra en un tubo de ensayo etiquetado, se añadió 10 mL de agua destilada a cada tubo, se colocó un tapón a cada uno y se agitaron por un minuto, después se dejaron reposar verticalmente por 30 minutos hasta que se observara estratificación.

Una vez que se presentó la estratificación, se realizó un filtrado del sobrenadante en ambos tubos; al mismo tiempo se tomaron dos nuevos tubos de ensayo en donde se añadió a cada uno 2 mL de la solución activadora y posteriormente se agregaron 2 gotas de del filtrado de la muestra correspondiente a cada tubo, se añadió 2 gotas de la solución indicadora Amonia Nitrogen a cada tubo, y se agitaron levemente, se esperó un minuto para comenzar la interpretación con la ayuda del cuadro de concentraciones (Figura 9).

Para la medición de P se tomaron dos gramos de muestra: lombricomposta (sin mezclar con el suelo) secada al aire y suelo tamizado secado al aire; se colocó cada muestra en un tubo de ensayo etiquetado, se añadió 10 mL de agua destilada a cada tubo, se colocó el tapón a cada uno y se agitaron por un minuto, después se dejaron reposar verticalmente por 30 minutos hasta que se observara estratificación. Una vez que se presentó la estratificación se realizó un filtrado del sobrenadante de ambos tubos y con una pipeta se tomó 2 mL de cada muestra y se colocó por separado en un nuevo tubo de ensayo etiquetado, se agregaron dos gotas de la solución indicadora Phosphorus extractant a cada tubo, se agitaron levemente y se esperó un minuto para comenzar la interpretación con la ayuda del cuadro de concentraciones (Figura 9).

Por último, la medición de K se utilizaron dos gramos de muestra: lombricomposta (sin mezclar con el suelo) secada al aire y de suelo tamizado secado al aire; cada muestra se colocó en un tubo de ensayo previamente etiquetado, se añadió 10 mL de agua destilada a cada tubo, se colocó el tapón a cada uno y se agitaron por un minuto, después se dejaron reposar verticalmente por 30 minutos hasta que se observó estratificación. Una vez que se presentó la estratificación, se realizó un filtrado del sobrenadante de ambos tubos y con una pipeta se tomó 2 mL de cada muestra y se colocó por separado en un nuevo tubo de ensayo etiquetado, se agregaron dos gotas de la solución indicadora Potassium Extractant a cada tubo, se agitaron los tubos levemente y se esperó un minuto para comenzar la interpretación con la ayuda del cuadro de concentraciones (Figura 9).



Figura 8. Kit de pruebas de NPK

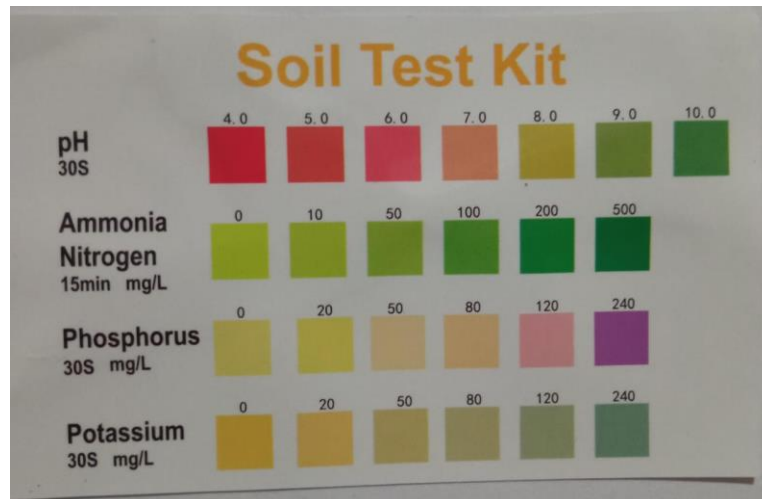


Figura 9. Cuadro de Concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio

## 7.4 Preparación de los modelos experimentales

Se seleccionaron 80 macetas de PVC con 24 cm de alto y 7 cm de diámetro, las cuales fueron selladas de la parte inferior con una tapa de acetato y cinta adhesiva. Se usaron 40 macetas etiquetadas para cada especie, cada una con dos lotes, uno para el tratamiento con lombricomposta y el otro para el testigo.

Para el sustrato se utilizó un suelo proveniente de bosque templado del Estado de Morelos: el cual fue previamente tamizado utilizando un tamiz de 2 mm de la marca Montinox; mientras que la lombricomposta empleada fue de la marca Hortaflores (Figura 10); fue adquirida por el laboratorio de Ecología Vegetal de la FES Zaragoza Campus II. La información proporcionada de este abono acerca de la concentración de Nitrógeno, Fósforo y Potasio no es especificada en su etiqueta; sin embargo, menciona el contenido de materia orgánica (15.75%), así como algunas especificaciones de los materiales usados, sugerencias de empleo, almacenamiento y transporte.

Para 40 macetas con el tratamiento lombricomposta, en cada una de ellas se agregaron 100 g de tezontle y la mezcla de 620 g de suelo tamizado + 80 g de lombricomposta es decir que se usó el 10% de este abono, mientras que para las 40 macetas con el tratamiento testigo, sólo se agregó 100 g de tezontle y 700 g de suelo tamizado.



Figura 10. Humus de lombriz comercial de la empresa Hortaflores empleado en el experimento.

## 7.5 Germinación

Las semillas de las especies analizadas fueron obtenidas del Banco de semillas de la Unidad de Investigación en Ecología Vegetal de la FES Zaragoza Campus II.

- Las semillas de *Prosopis laevigata* fueron recolectadas el 24 de agosto de 2017, en la localidad Rincón, municipio El Arenal, estado Hidalgo, México.
- Las semillas de *Vachellia farnesiana* fueron recolectadas el 10 de junio de 2022 en el vivero de FES Zaragoza.

No se llevaron a cabo pruebas de viabilidad debido a que las semillas se mantuvieron en condiciones adecuadas siendo que no se vio afectado para este trabajo su uso ya que de acuerdo con CONABIO (s.f.) y CONAFOR (s.f.), el tiempo de viabilidad estimado en adecuadas condiciones de almacenamiento en las semillas de *Prosopis laevigata* es de diez años para semillas con endocarpio y más de tres años en semillas sin endocarpio, en el caso de *Vachellia farnesiana* es de tres años bajo condiciones de almacenamiento y con una humedad del seis por ciento (CONABIO, CONAFOR, s.f.).

60 semillas de cada especie se germinaron en cajas Petri con papel filtro humedecido; sin embargo, debido a que ambas especies *P. laevigata* y *V. farnesiana* poseen una latencia física, se aplicó previamente un tratamiento de escarificación mecánica que consistió en cortar la testa (Suárez y Melgarejo, 2010); el corte se realizó con una navaja en la parte del tegumento del lado opuesto del eje embrionario (Giménez, 2017). En el caso de las semillas de *V. farnesiana* debido a que la testa de las semillas es muy dura, se realizó un corte más profundo con pinzas de jardinería sobre los bordes de toda la cubierta seminal (Cedres, 2016).

## 7.6 Trasplante

Una vez germinadas las semillas, se seleccionaron aquellas en donde se presentarán los cotiledones y una radícula que midiera un centímetro o más, debido a que para su trasplante a las macetas de PVC (Figuras 11 y 12), debe ser a un centímetro de profundidad (Hernández *et al.*, 2021; Illescas *et al.*, 2021)



Figura 11. Trasplante de *P. laevigata* para ambos tratamientos

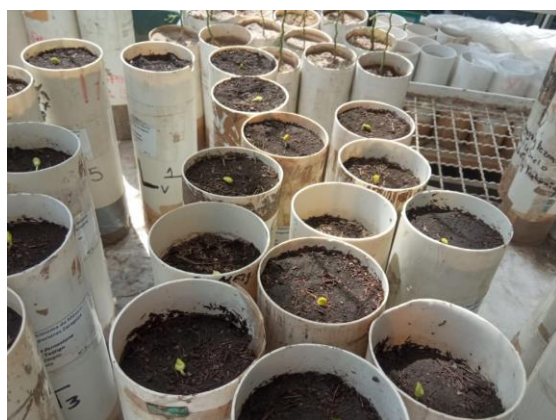


Figura 12. Trasplante de *V. farnesiana* para ambos tratamientos.

Realizado el trasplante de ambas plantas se esperó tres semanas para que se diera el establecimiento de las plántulas y reemplazar aquellas que se secaron, durante este tiempo se realizaron tres riegos semanalmente de 50 mL mientras permanecían los cotiledones; una vez que aparecieron las pinnas se realizaron riegos de dos a tres veces por semana de 155 mL en lombricomposta y 170 mL en testigo, posteriormente se realizaron las mediciones de las variables de crecimiento.

## 7.7 Control de plagas

Para evitar la presencia de plagas, se utilizó como bioinsecticida una solución de ajo. El ajo posee actividad insecticida por la alicina está presente en el bulbo por lo cual su uso como bioplaguicida ayuda a la eliminación de plagas en la agricultura y en el mezquite (González *et al.*, 2021). Mencionado lo anterior se optó por su aplicación y para su elaboración consistió en cortar un diente de ajo el cual fue hervido en 100 mL de agua de garrafón, hasta que el agua tomara un color blanquecino, fue almacenado y posteriormente fue aplicado una o dos veces por semana, con un pincel en el tallo y envés de las pinnas para ambas plantas.

## 7.8 Variables de crecimiento

Pasadas las tres semanas de establecimiento para ambas especies se procedió a evaluar la altura, cobertura y número de pinnas, siendo que el tiempo en que se llevó a cabo el registro de datos fue de 34 semanas en *P. laevigata* y 25 semanas en *V. farnesiana*.

Para obtener la cobertura se realizó la medición del diámetro mayor y menor, tomando como referencia el centro de la planta (Salazar, 2017). La cobertura se realiza mediante fórmula

$$Co = (\pi)(r^2)$$

En donde:

**Co**= cobertura

$\pi$  = 3.1416 y

**r**= radio de la planta = (diámetro mayor +diámetro menor) /4

En cuanto a las mediciones de concentración de clorofila y coloración de hojas se dejó pasar dos meses para contar con mayor número de pinnas, ambas variables se median cada 14 días teniendo un registro de 32 semanas en *P. laevigata* y 21 semanas en *V. farnesiana*. Se obtuvieron menos datos en *V. farnesiana* debido a que las plantas presentaron estrés por radiación impidiendo que se desarrollaran las pinnas.

Para medir la clorofila se usó un clorofilómetro SPAD 502 (Figura 13); no destructivo de registro indirecto de clorofila.



Figura 13. Medición de clorofila en *P. laevigata* y *V. farnesiana*

La coloración de hojas fue determinada, con las tablas de Munsell para tejidos vegetales (Munsell Plant Tissue Color Charts), como se muestra en la figura 14. Esta variable toma relevancia siendo que Vuković *et al.* (2021) mencionan el efecto de la lombricomposta en pigmentos fotosintéticos.



Figura 14. Medición de la coloración de hojas en *P. laevigata* y *V. farnesiana*.

## 7.9 Variables medidas al final del periodo experimental

Los seis meses después de trasplantar se seleccionaron de cada tratamiento y de cada especie cinco plantas que presentaran alturas similares para realizar la medición de potencial hídrico foliar ( $\Psi_p$ ), longitud de raíz, biomasa húmeda y seca de las partes aérea y radical, biomasa total: húmeda y seca, cociente raíz vástago (R/V) y la tasa de crecimiento relativo (TCR)

Seleccionadas las plantas de cada tratamiento se procedió a medir el potencial hídrico foliar ( $\Psi_p$ ), que consiste en medir la presión en la que se encuentra el agua en los tejidos de la planta (MPa), por lo cual se utilizó la cámara de Schöllander. En dicho equipo se coloca la parte aérea de la planta en un tapón y se inserta en la cámara de modo que la planta quede de cabeza y el tallo se asome fuera del tapón, posteriormente se comenzó a generar presión por medio de un gas inerte ( $N_2$ ) a la planta hasta que en la punta del tallo se formó una pequeña burbuja de agua (Figura 15) y finalmente se toma la lectura de la presión y se detiene el flujo del gas (Salazar, 2017).



Figura 15. Medición de potencial hídrico foliar en *P. laevigata*, arriba, y *V. farnesiana*, abajo, para ambos tratamientos lombricomposta (izquierda) y testigo (derecha).

Debido a que solo se utilizó la parte aérea para la medición de la variable anterior se procedió a realizar la extracción de la parte radical de los ejemplares seleccionados de *P. laevigata* y *V. farnesiana* como se observa en la figura 16. Los ejemplares fueron separados en parte: aérea y radical, además de ser etiquetados de acuerdo con su especie y tratamiento, para la parte radical fue necesario enjuagar con agua de grifo para retirar el exceso de sustrato.

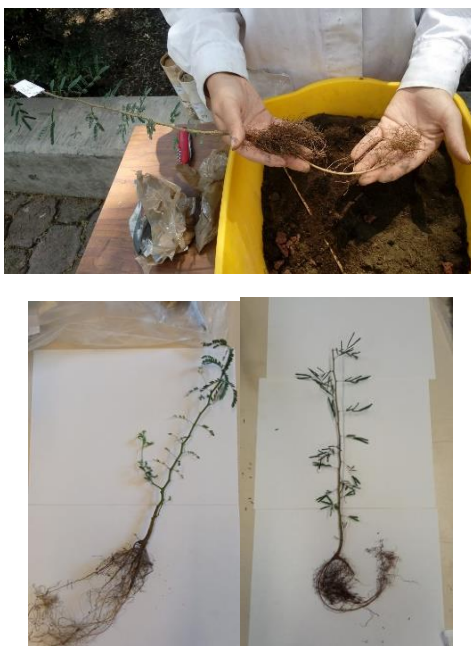


Figura 16. Extracción de ejemplares "*P. laevigata* y *V. farnesiana*" de ambos tratamientos para realizar la medición de longitud de raíz, biomasa húmeda y seca.

Se tomo la parte radical de cada ejemplar y se extendió sobre una superficie plana, posteriormente se utilizó un flexómetro de la marca STANLEY para medir la longitud de la raíz, como se muestra en la Figura 17.





Figura 17. Medición de la longitud de raíz en *P. laevigata* y *V. farnesiana* para ambos tratamientos.

Para conocer la biomasa húmeda en peso (g) de las partes aérea y radical se tomó cada parte de cada planta y posteriormente fueron pesadas en una balanza analítica marca OHAUS; modelo YS Series como se muestra en la figura 18. De igual forma para la biomasa húmeda total se pesó en la balanza analítica ambas partes: aérea y radical de cada planta para cada tratamiento.

#### Testigo



## Lombricomposta



Figura 18. Medición de la biomasa húmeda aérea y radical en ambos ejemplares *P. laevigata* (izquierda) y *V. farnesiana* (derecha) en ambos tratamientos.

La biomasa seca en peso (g) de las partes aérea y radical se obtuvo colocando las muestras en una estufa marca Riossa; modelo H-41 a 70 °C durante aproximadamente una hora y media hasta obtener un peso constante; por lo que una vez secos se volvieron a pesar utilizando una balanza analítica marca OHAUS; modelo YS Series como se observa en la figura 19. El peso de la biomasa seca total se obtuvo pesando en la balanza analítica ambas partes: aérea y radical de cada planta para cada tratamiento.

## Testigo



## Lombricomposta



Figura 19. Medición de Biomasa seca aérea y radical en ambos ejemplares *P. laevigata* (izquierda) y *V. farnesiana* (derecha) en ambos tratamientos.

El cociente raíz/vástago (R/V) muestra la cantidad de biomasa invertida en la raíz con relación al vástago (González *et al.*,2005). Por lo que a partir de la biomasa seca de la parte aérea y raíz se realiza la siguiente fórmula (Pablo y Robles, 2019).

$$R/V = \frac{\text{biomasa seca de la raíz (g)}}{\text{biomasa seca del vástago (g)}}$$

La tasa de crecimiento relativo (TCR) se calculó a partir de la altura máxima de las plantas al inicio y al final del periodo de cultivo en condiciones de invernadero. Se utilizó el modelo de crecimiento exponencial, el cual describe adecuadamente la fase inicial del desarrollo vegetal (Monroy y García, 2009). La fórmula para determinar la tasa relativa de crecimiento de las plantas empleada fue la siguiente

$$TCR = \frac{\ln(\text{altura final en mm}) - \ln(\text{altura inicial en mm})}{\text{tiempo (días)}}$$

Las unidades de la tasa de crecimiento son: [(mm /d)] o [d-1].

## VIII. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Se utilizó el software estadístico Minitab 18 para evaluar las distintas variables entre el tratamiento con lombricompostas y el tratamiento testigo de cada especie. Se utilizó los datos recolectados durante 34 semanas en *P. laevigata* y de 25 semanas en *V. farnesiana* para las variables de altura, número de pinnas y cobertura foliar; mientras para la concentración de clorofila se utilizaron los datos recolectados durante 32 semanas en *P. laevigata* y 21 semanas en *V. farnesiana*. En cuanto a los datos del color de hojas se seleccionaron las frecuencias que fueran mayores a cinco.

Con la finalidad de tener el mismo tamaño de muestra en ambos tratamientos para las variables antes mencionadas, se excluyeron los datos de las plantas que murieron por lo cual para cada especie se contó con un total de 17 macetas con lombricomposta y 17 macetas testigo.

En cuanto a las variables de potencial hídrico, longitud de raíz, biomasa húmeda: aérea y radical, biomasa seca: aérea y radical, biomasa húmeda total, biomasa seca total, cociente raíz/vástago se utilizaron los datos de las cinco plantas seleccionadas de cada tratamiento; mientras que para la tasa de crecimiento relativo (TCR) se ocuparon solamente los datos de los 17 ejemplares de testigo y lombricomposta

El análisis estadístico consistió primeramente en obtener las medidas de tendencia central de cada una de las variables, posteriormente se aplicó una prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov para aquellas variables que presentaran una N mayor a 50 observaciones o en su caso una prueba de Shapiro-Wilk si presentaban una N menor a 50 observaciones (Tapia *et al.*, 2021). Una vez elaborada la prueba de normalidad respectiva se procedió a realizar una prueba de homogeneidad de varianzas de Levene en el caso de que no se cumpliera con la normalidad; aunque si este no era el caso se realizó la prueba de Bartlett ya que esta es utilizada solo si los datos se ajustan a la distribución normal o casi normal (Correa *et al.*, 2006; Minitab, 2024).

Para *P. laevigata* y *V. farnesiana* se utilizó la prueba no paramétrica de U-Mann Whitney (a una  $p= 0.05$ ), en las variables de altura, número de pinnas, cobertura foliar y clorofila, debido a que no cumplieron la normalidad y homogeneidad de varianzas. La prueba U-Mann Whitney contrasta las medianas de dos grupos independientes que no tienen distribución normal (Rivas *et al.*, 2013; Molina, 2023).

De acuerdo con Sánchez (2015), la prueba t-Student permite comparar la diferencia de medias en muestras independientes con una  $N \leq 30$  y que tengan distribución normal y homogeneidad en sus varianzas, por lo que se utilizó esta prueba (a una  $p=0.05$ ) en las variables que cumplieran ambos criterios -normalidad y homogeneidad de varianzas- como lo fue para el potencial hídrico foliar, longitud de raíz, biomasa húmeda aérea y radical, biomasa seca área y radical, biomasa húmeda total, biomasa seca total, cociente raíz/vástago y TCR en *P. laevigata* y *V. farnesiana*.

En el caso de las variables cualitativas como lo es el color de hojas se realizó una prueba de chi-cuadrada de asociación; ya que de acuerdo con Saldaña (2011), se utiliza para determinar la dependencia o independencia de caracteres cualitativos.

## IX. RESULTADOS

### 9.1 Propiedades del suelo y lombricomposta

Para el suelo se obtuvo una densidad aparente de  $0.6020 \text{ g/cm}^3$ , densidad real de  $1.96 \text{ g/cm}^3$ , una capacidad de campo del 49.7%, pH de 6.9 y conductividad eléctrica  $0.1 \text{ dS/m}$ ; mientras que para la lombricomposta (sin mezclar con el suelo) se obtuvo una densidad aparente de  $0.4966 \text{ g/cm}^3$ , densidad real  $1.38 \text{ g/cm}^3$ , pH de 7.7 y conductividad eléctrica de  $0.1 \text{ dS/m}$ .

En cuanto a las pruebas de N, P y K para el suelo se obtuvo una concentración de  $0 \text{ mg/L}$  en nitrógeno de amoníaco,  $120 \text{ mg/L}$  para fósforo y potasio. Para el abono (sin mezclar con el suelo) de igual forma se tenía una concentración de  $0 \text{ mg/L}$  en nitrógeno de amoníaco,  $120 \text{ mg/L}$  de fósforo y  $240 \text{ mg/L}$  de potasio. En las figuras 20 y 21 se pueden observar las coloraciones que se obtuvieron en las diferentes variables medidas las cuales fueron interpretadas con el cuadro de concentraciones (Figura 9)

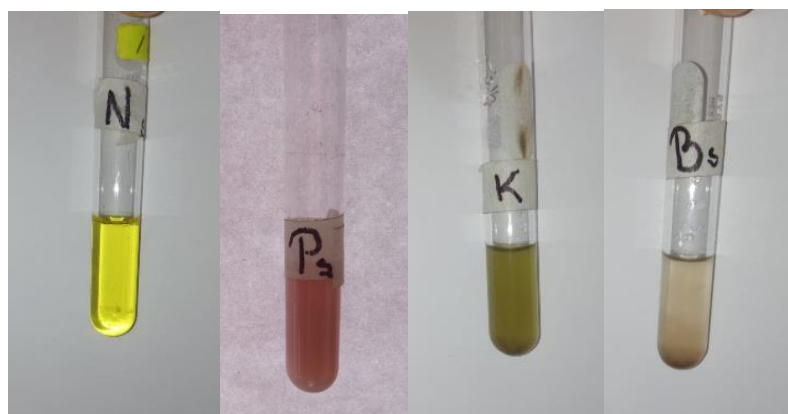


Figura 20. Resultados colorimétricos de los diferentes parámetros (pH, N, P, K y Blanco) en suelo.

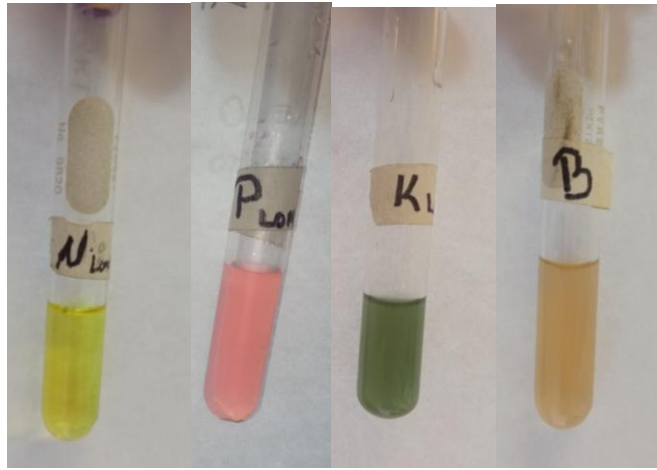


Figura 21. Resultados colorimétricos de los diferentes parámetros (pH, N, P, K y Blanco) en lombricomposta.

## 9.2 Germinación

En la figura 22 se observa la emergencia de las radículas durante la germinación de ambas especies, mientras en las figuras 23 y 24 se muestra el porcentaje de germinación de las semillas de ambas especies a lo largo de los días, siendo que para *P. laevigata* se tuvo un aumento a partir del cuarto día y hasta el noveno día en donde se obtuvo el 98% de la germinación; mientras que en *V. farnesiana* se obtuvo un aumento en el quinto día y finalizó hasta el día catorce con el 90% de la germinación.



Figura 22. Germinación de *P. laevigata* y *V. farnesiana*

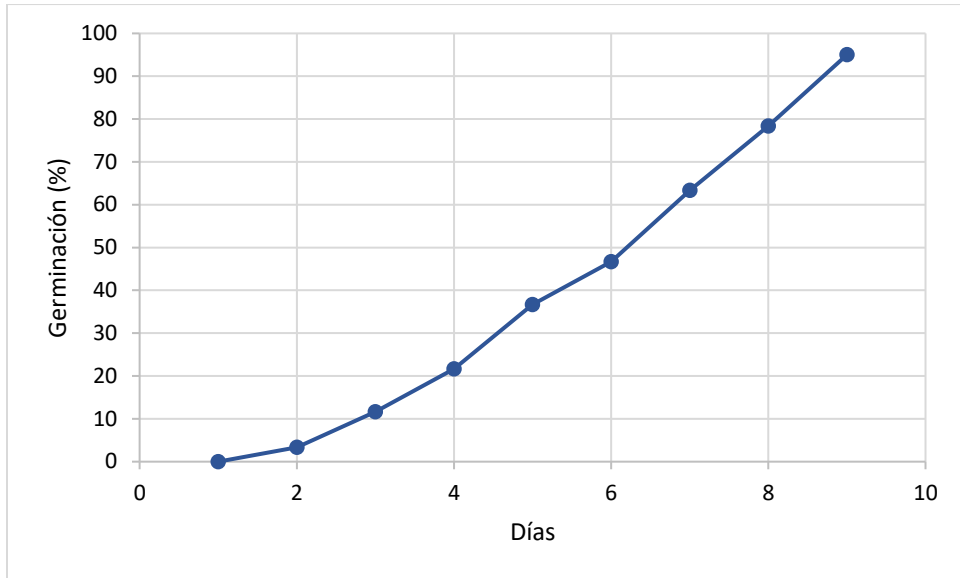


Figura 23. Porcentaje de germinación en *P. laevigata*.

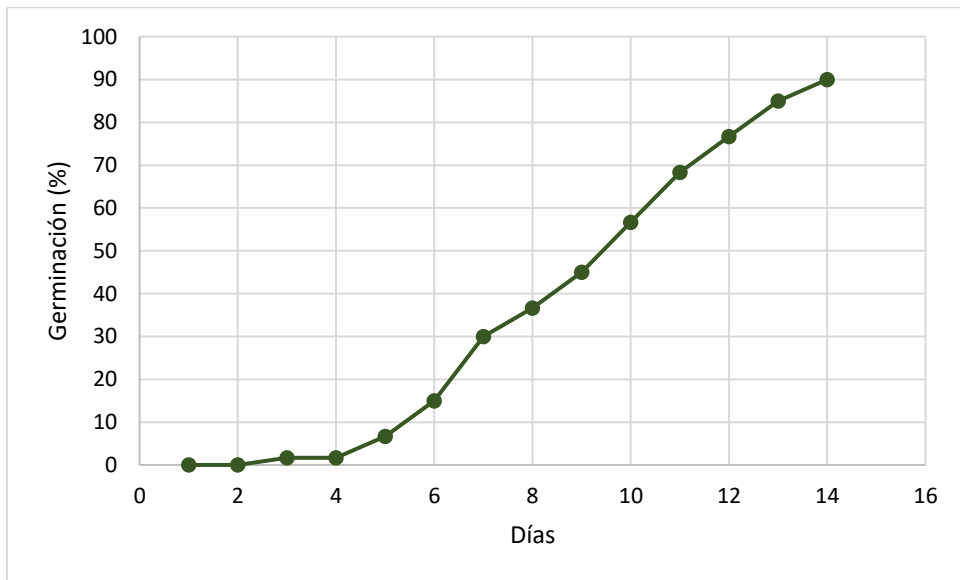


Figura 24. Porcentaje de germinación en *V. farnesiana*.

### 9.3 Crecimiento de *Prosopis laevigata* y *Vachellia farnesiana*

En la figura 25 se puede observar el establecimiento de ambas especies con ambos tratamientos en un mes, y durante el inicio de su crecimiento fue notorio la presencia de pinnas pequeñas en *P. laevigata* en el tratamiento testigo (Figura 26); aunque, para *V. farnesiana* fue en ambos tratamientos donde las pinnas no presentaban un desarrollo normal ya que se presentaron pinnas incompletas (Figura 27); debido a que las plantas se encontraban estresadas por el efecto de alta radiación solar (Figura 28), es por ello que se colocó una malla sombra.



Figura 25. Establecimiento de *P. laevigata* (arriba) y *V. farnesiana* (abajo) con ambos tratamientos en el lapso de un mes.



Figura 26. *P. laevigata* (Testigo), presentando pinnas pequeñas al inicio de su crecimiento.



Figura 27. *V. farnesiana* (Testigo y lombricomposta) presentando pinnas pequeñas al inicio de su crecimiento.



Figura 28. *V. farnesiana* en ambos tratamientos presentando estrés por radiación.

En el diagrama de cajas y bigotes (Figura 29) se observa la distribución de los datos de las alturas medidas en *P. laevigata*, en donde el promedio total fue de 32.454 cm en el tratamiento testigo además de que la caja indica que para este tratamiento el 50% de los datos de altura se encuentran entre 12.6 cm y 49.3 cm; mientras el tratamiento con lombricomposta el promedio total fue de 30.014 cm y el 50% de los datos de altura se encuentran entre 17.7 cm y 46 cm. Para esta variable no se registraron diferencias significativas entre tratamientos mostrando un valor de  $p=0.062$  y un valor  $W=287214.5$ .

De igual forma en la figura 30 se observa la distribución de las alturas medidas para *V. farnesiana*, mostrando un promedio total de 25.790 cm en testigo y el 50% de los datos de altura se encuentran entre 10.20 cm y 41.12 cm, pero para el tratamiento con lombricomposta se obtuvo un promedio total de 23.086 cm; mientras que el 50% de las alturas se encuentran entre 11.5 cm y 34.62 cm. No se registraron diferencias significativas entre tratamientos para esta variable teniendo una  $p= 0.185$  y valor  $W=143977$ .

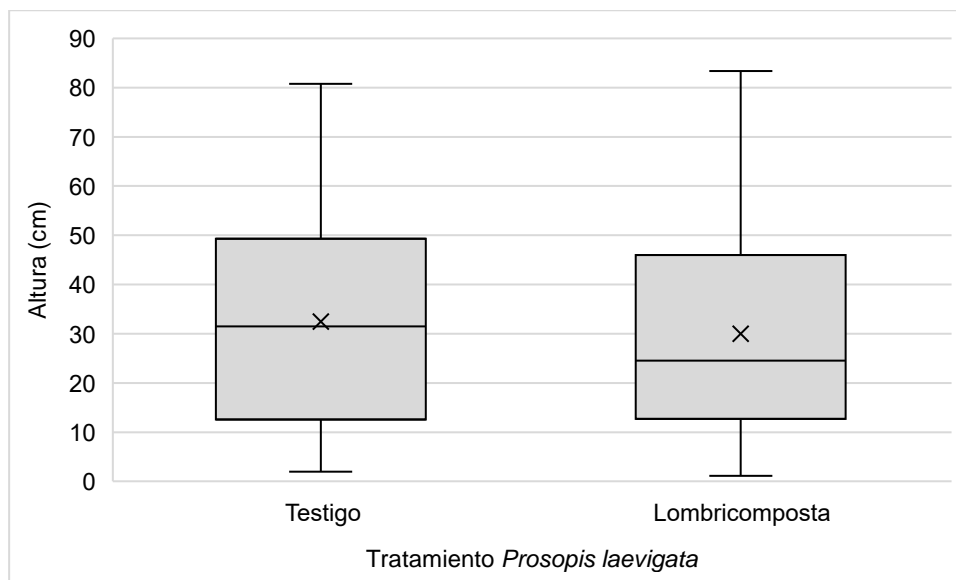


Figura 29. Altura en *P. laevigata* para ambos tratamientos.

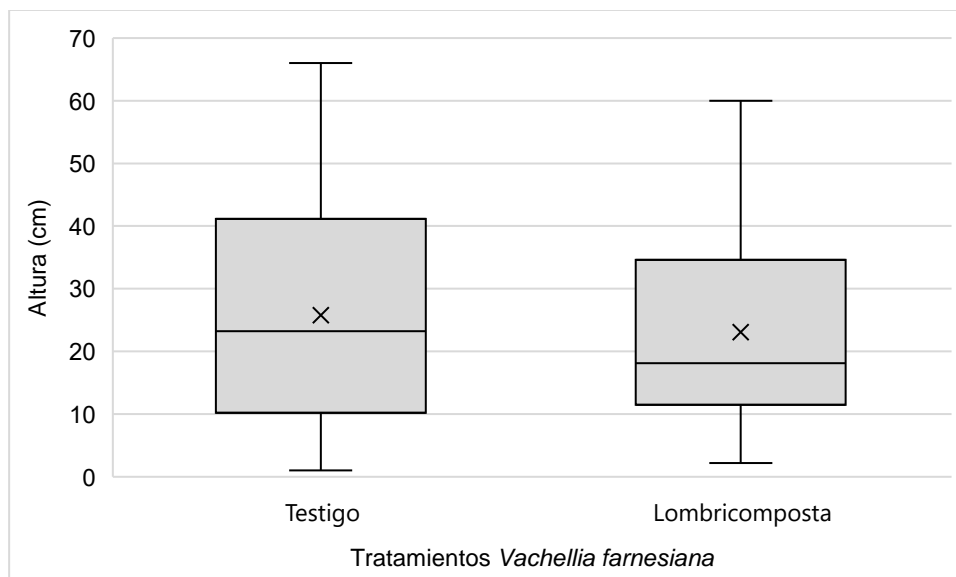


Figura 30. Alturas en *V. farnesiana* para ambos tratamientos.

Los promedios totales del número de pinnas en *P. laevigata* fueron 40.49 en testigo y 37.77 en lombricomposta (Figura 31), así mismo no se registró diferencias significativas entre tratamientos obteniendo una  $p=0.179$  y valor  $W=284627.5$ . En *V. farnesiana* los promedios totales (Figura 32); fueron 84.59 pinnas en testigo y 76.87 pinnas en lombricomposta. De acuerdo con el valor de  $p=0.426$  y valor  $W=142417$  no se presentan diferencias significativas entre tratamientos.

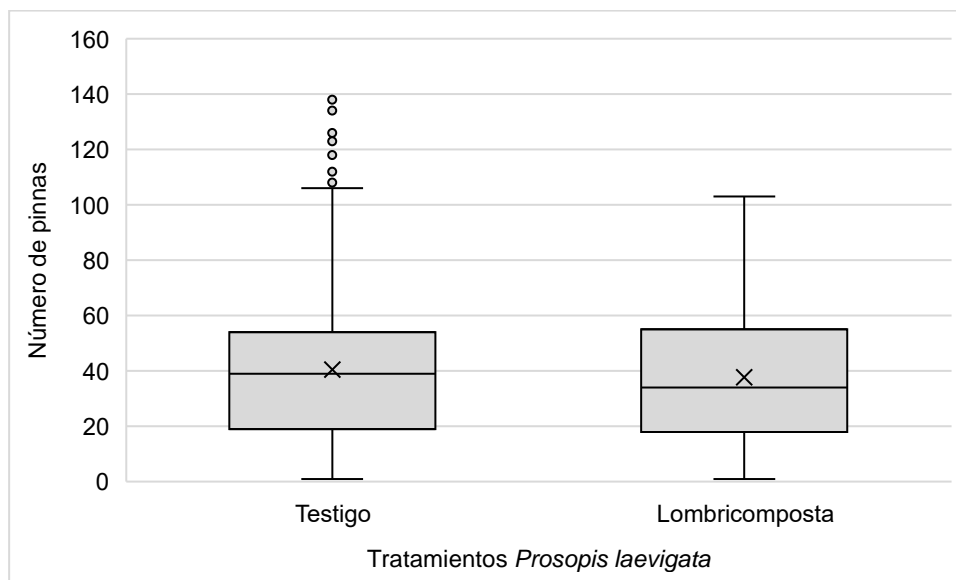


Figura 31. Número de pinnas en *P. laevigata* para ambos tratamientos

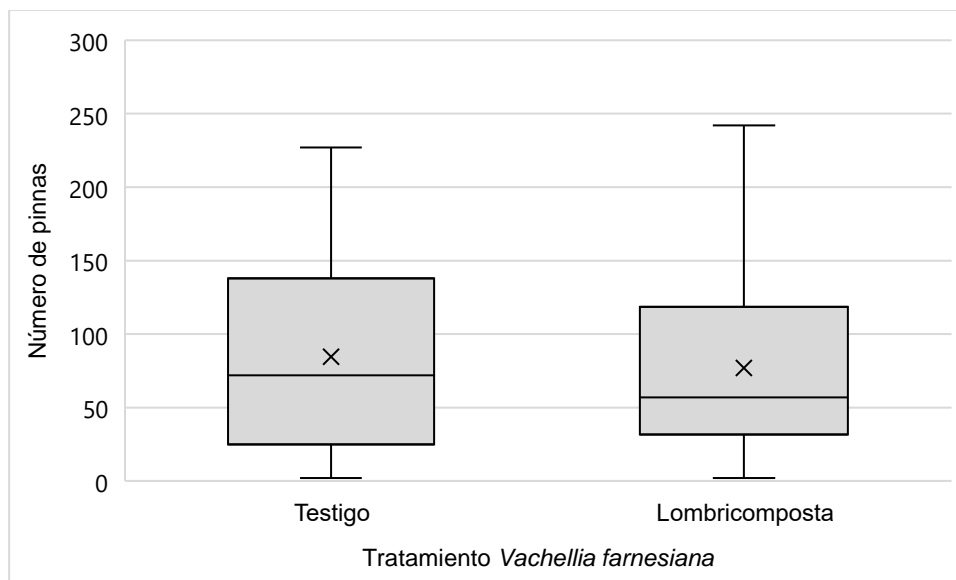


Figura 32. Número de pinnas en *V. farnesiana* para ambos tratamientos.

El promedio total de la cobertura foliar ( $\text{cm}^2$ ) en *P. laevigata* fue de 49.56  $\text{cm}^2$  testigo y 49.06  $\text{cm}^2$  en lombricomposta (figura 33). No se registraron diferencias significativas entre los tratamientos para esta variable, obteniendo un valor de  $p=0.895$  y valor  $W=277338.5$ . Por el contrario, los promedios totales de la cobertura foliar ( $\text{cm}^2$ ) en *V. farnesiana* fueron 63.96  $\text{cm}^2$  en testigo y 58.12  $\text{cm}^2$  en lombricomposta (Figura 34), para este caso no se registraron diferencias significativas entre tratamientos mostrando un valor de  $p=0.149$  y un valor  $W=144329.5$ .

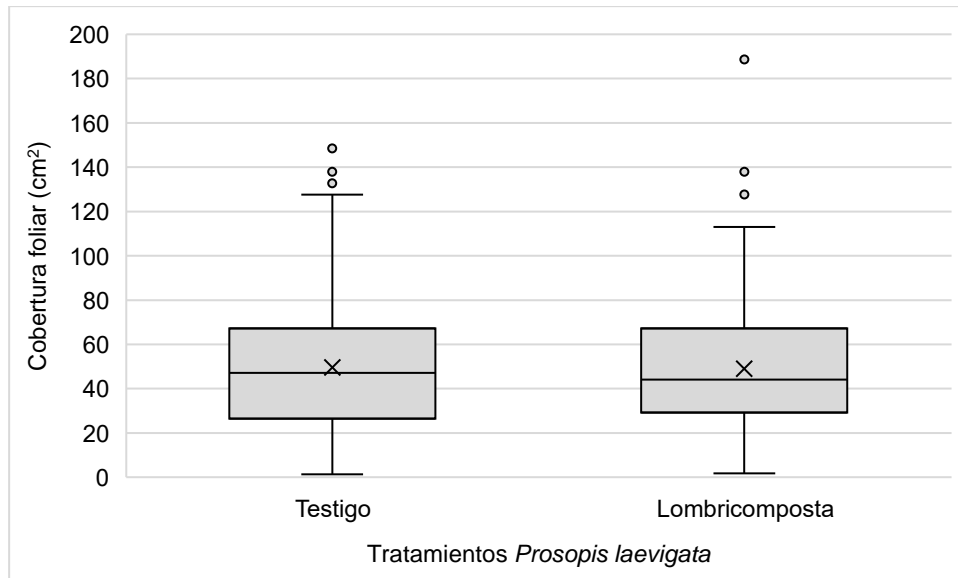


Figura 33. Cobertura foliar de *P. laevigata* para ambos tratamientos.

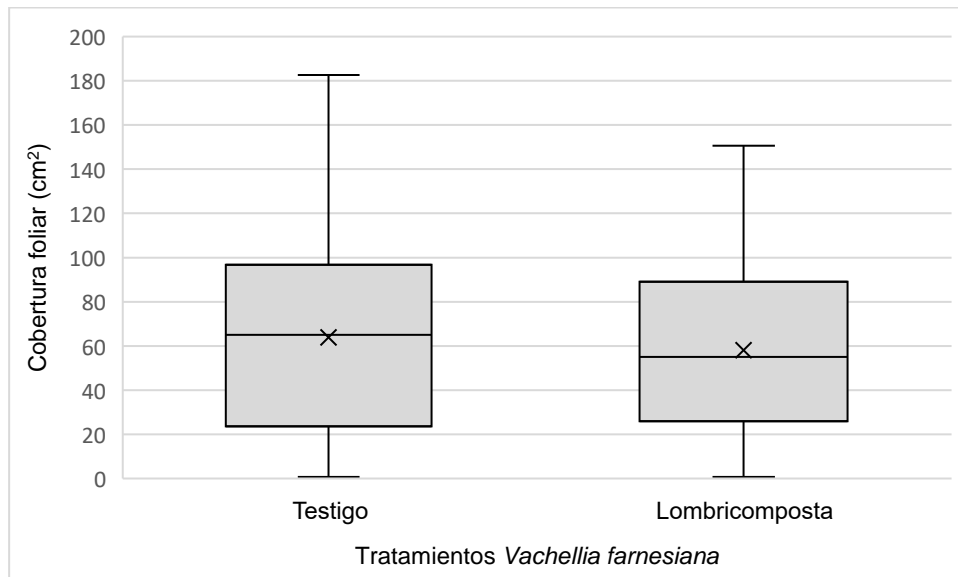


Figura 34. Cobertura foliar de *V. farnesiana* para ambos tratamientos.

Los promedios totales de la longitud de raíz para cada tratamiento de ambas especies se pueden observar en la figura 35; por lo que en *P. laevigata* se obtuvo 34.96 cm en testigo y 32.96 cm en lombricomposta, sin presentar diferencias significativas ya que el valor de  $p=0.641$ ,  $GL=7$  y valor  $T=0.49$ . Para *V. farnesiana* se tuvo un promedio total de 24.540 cm en testigo y 28.26 cm en lombricomposta; para este caso se presentaron diferencias significativas entre tratamientos por lo que el valor de  $p=0.038$ ,  $GL=6$  y el valor  $T=-2.65$ .

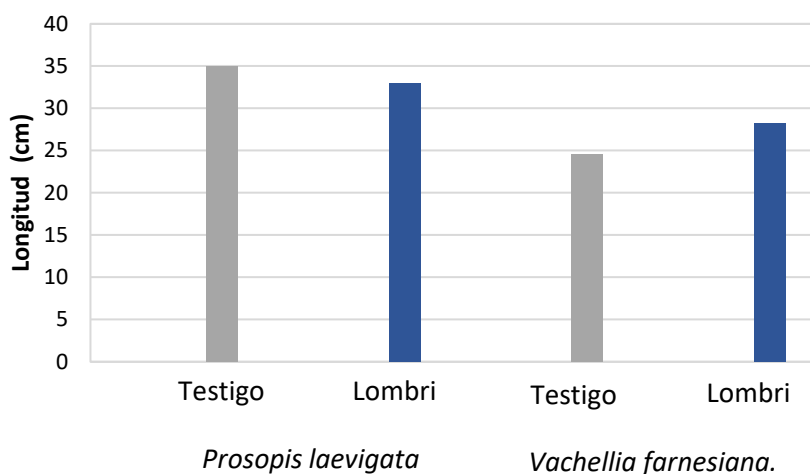


Figura 35. Longitud de raíz de *P. laevigata* y *V. farnesiana* en ambos tratamientos.

En el diagrama de cajas y bigotes (Figura 36) se muestra que para *P. laevigata* el 50% de las concentraciones de clorofila en el tratamiento testigo se encuentran entre 6.8 Unidades SPAD y 12.6 unidades SPAD así mismo su promedio es de 9.948 unidades SPAD; mientras para el tratamiento con lombricomposta el 50% de las concentraciones de clorofila se encuentran entre 6.6 unidades SPAD y 12.6 unidades SPAD, su promedio respectivo es de 10.301 unidades SPAD. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para esta variable obteniendo una  $p=0.810$ , y valor  $W=48629$ .

En el caso de *V. farnesiana* se muestra que en el diagrama de cajas y bigotes (Figura 34) el 50% de los datos de las concentraciones de clorofila en el tratamiento testigo están entre 6.1 unidades SPAD y 9.9 unidades SPAD, así mismo su promedio es de 8.309 unidades SPAD; para el tratamiento lombricomposta el 50% de las concentraciones de clorofila se encuentran entre 8.05 unidades SPAD y 13.8 unidades SPAD, y el promedio respectivo es de 10.846 unidades SPAD. Se presentaron diferencias significativas entre tratamientos obteniendo un valor de  $p=0.000$  y valor  $W=22009.50$ .

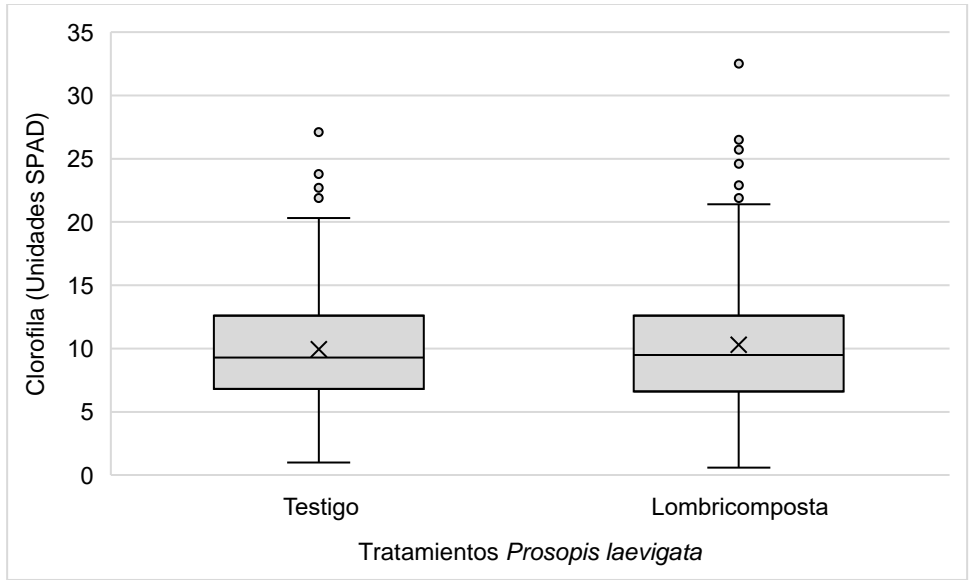


Figura 36. Concentraciones de clorofila en *P. laevigata* en ambos tratamientos.

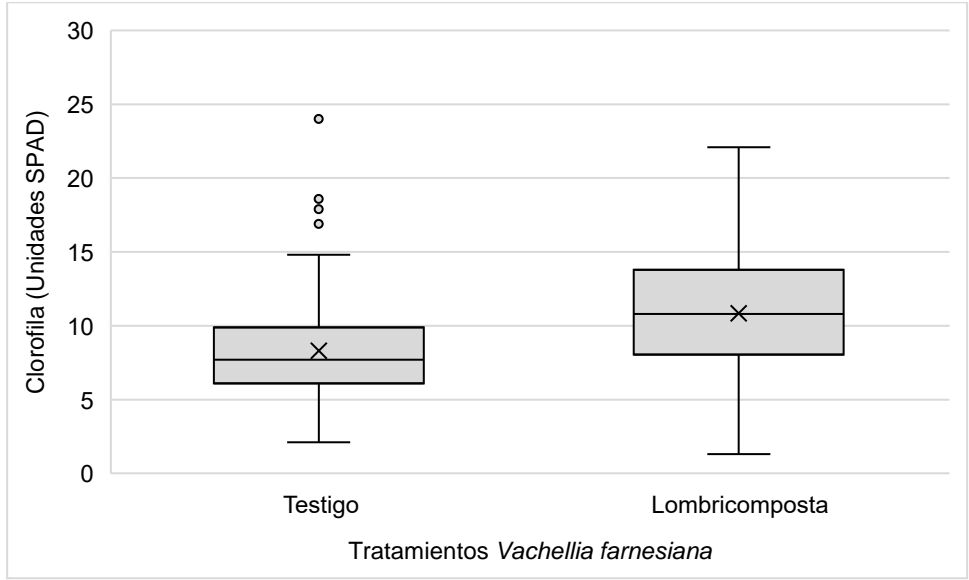


Figura 37. Concentraciones de clorofila en *V. farnesiana* en ambos tratamientos.

En *P. laevigata* no se mostró relación del color de hojas y los tratamientos, obteniendo un valor de chi cuadrada de Pearson=7.477; GL= 6; valor p= 0.281; sin embargo, los colores de hojas que presentaron mayor frecuencia en ambos tratamientos fueron 2.5G 4/2 y 7.5GY 4/2 (Figura 38). En el caso de *V. farnesiana* los colores de hojas con mayor frecuencia en ambos tratamientos fueron 7.5GY 3/2, 7.5GY 4/2, 7.5GY 4/4 (Figura 39); de igual forma no se mostró relación entre el color de hojas y los tratamientos, teniendo un valor de chi cuadrada de Pearson=3.174, GL= 7 y un valor de p= 0.868.

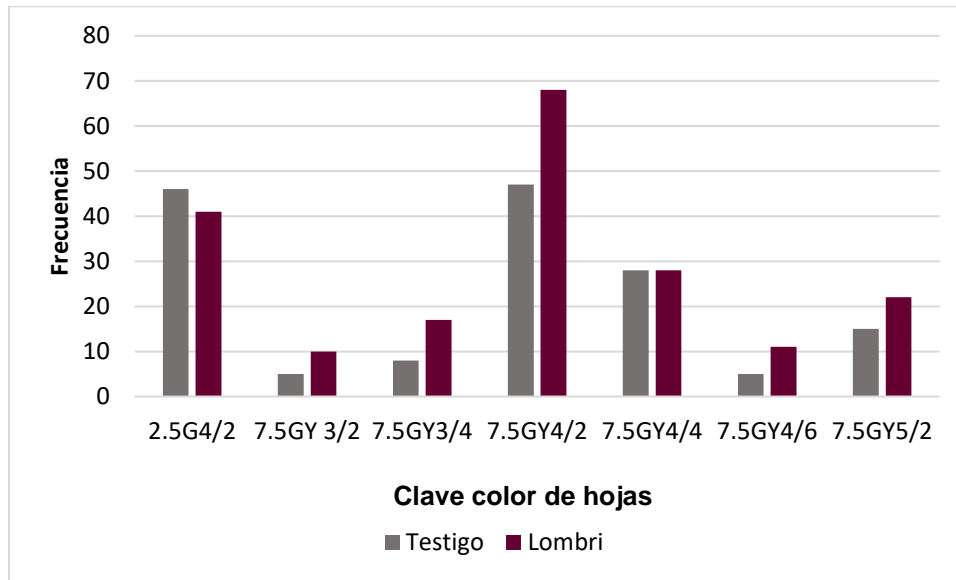


Figura 38. Frecuencia de la coloración de hojas en *P. laevigata* en ambos tratamientos.

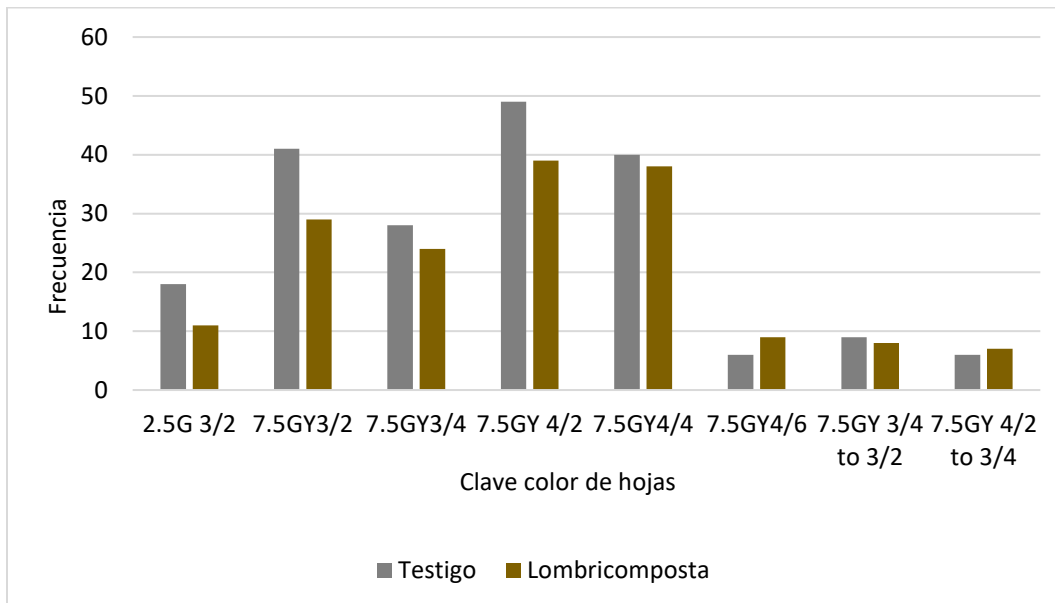


Figura 39. Frecuencia de la coloración de hojas en *V. farnesiana* en ambos tratamientos.

Los promedios totales del potencial hídrico foliar en *P. laevigata* fue de -1.100 MPa en testigo y -1.330 MPa en lombricomposta (Figura 40); no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos  $p=0.212$ ,  $GL=5$ , valor  $T=-1.43$ ; para *V. farnesiana* el promedio total del potencial hídrico foliar de las plantas testigo fue de -0.9100 MPa y -0.9700 MPa para lombricomposta (Figura 40), de igual forma no se registraron diferencias significativas entre tratamientos  $p=0.435$ ,  $GL=7$ , valor  $T=-0.83$ .

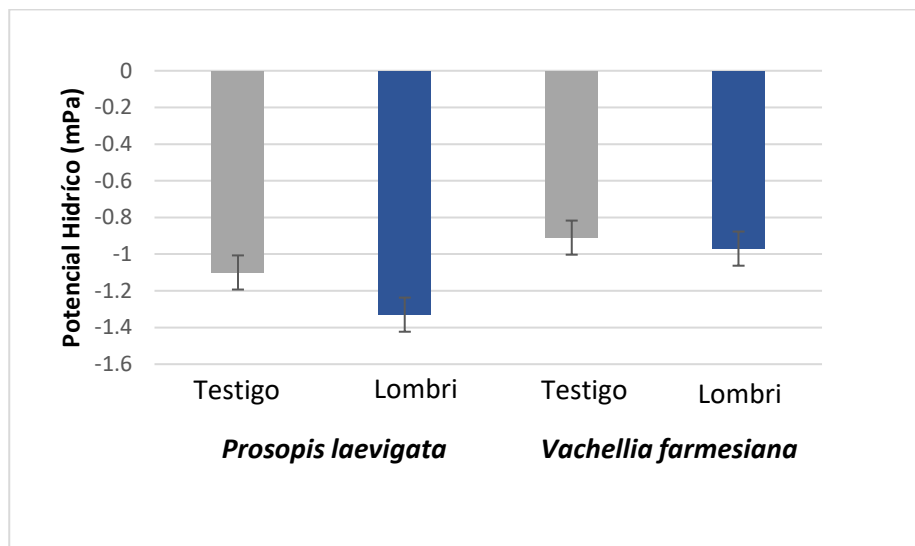


Figura 40. Potencial hídrico foliar en *P. laevigata* y *V. farnesiana* en ambos tratamientos.

En el Cuadro 2 se muestra la biomasa húmeda promedio de la parte aérea y radical entre tratamientos para ambas especies, en *P. laevigata* ambas biomásas húmedas no se registraron diferencias significativas entre tratamientos siendo para la parte aérea ( $p=0.332$ ,  $GL=7$ , valor  $T=1.04$ ); mientras que para la parte de la raíz ( $p=0.897$ ,  $GL=6$ , valor  $T=0.14$ ). De igual forma para *V. farnesiana* no se registró diferencias significativas entre tratamientos para ambas biomásas húmedas teniendo para la parte aérea ( $p=0.154$ ,  $GL=5$ , valor  $T=-1.68$ ); mientras para la raíz se obtuvo ( $p=0.781$ ,  $GL=7$ , valor  $T=-0.29$ ).

La biomasa seca promedio de la parte aérea y radical entre tratamientos para ambas especies se muestra en el Cuadro 2, en *P. laevigata* ambas biomásas secas no presento diferencias significativas entre tratamientos siendo que en la parte aérea se obtuvo ( $p=0.332$ ,  $GL=7$ , valor  $T=1.04$ ); mientras para la raíz se obtuvo ( $p=0.163$ ,  $GL=6$ , valor  $T=1.59$ ). En *V. farnesiana* no se registró diferencias significativas entre tratamientos en ambas biomásas secas de modo que la parte aérea ( $p=0.270$ ,  $GL=6$ , valor  $T=-1.22$ ); mientras que para la raíz se obtuvo ( $p=0.205$ ,  $GL=7$ , valor  $T=1.40$ ).

En el Cuadro 2 se encuentran los datos promedios de la biomasa húmeda total y biomasa seca total de ambos tratamientos para cada especie. Para *P. laevigata* no se registró diferencias significativas entre tratamientos para ambas biomásas siendo en la biomasa húmeda total ( $p=0.962$ ,  $GL=7$ , valor  $T=-0.05$ ); mientras para la biomasa seca total ( $p=0.214$ ,  $GL=7$ , valor  $T=1.37$ ). De igual forma en *V. farnesiana* no se registraron diferencias significativas para ambas biomásas totales, siendo en la biomasa húmeda total ( $p=0.315$ ,  $GL=6$ , valor  $T=-1.10$ ), en la biomasa seca total ( $p=0.940$ ,  $GL=7$ , valor  $T=0.08$ ).

Cuadro 2. Promedio de las biomásas totales, biomásas húmedas y secas de las partes aérea y radical en *P. laevigata* y *V. farnesiana* para ambos tratamientos.

Especie	Tratamiento	Biomasa húmeda (g)			Biomasa seca (g)		
		Aérea	Raíz	Total	Aérea	Raíz	Total
<i>Prosopis laevigata</i>	Testigo	4.2	2.34	6.54	2.78	1.54	4.32
	Lombricomposta	4.28	2.3	6.58	2.48	1.14	3.62
<i>Vachellia farnesiana</i>	Testigo	2.9	2.2	5.1	1.92	1.46	3.38
	Lombricomposta	3.44	2.3	5.74	2.16	1.2	3.36

El cociente raíz / vástago en *P. laevigata* se obtuvo un promedio total de 0.5734 en testigo y 0.5358 en lombricomposta (Figura 41), no se registraron diferencias significativas entre tratamientos  $p=0.567$ ,  $GL=7$ , valor  $T=0.60$ . En *V. farnesiana* se obtuvo un promedio total de 0.7544 en testigo y 0.6774 en lombricomposta (Figura 41), de igual forma no se registró diferencias significativas  $p=0.0468$ ,  $GL=6$ , valor  $T=0.77$ .

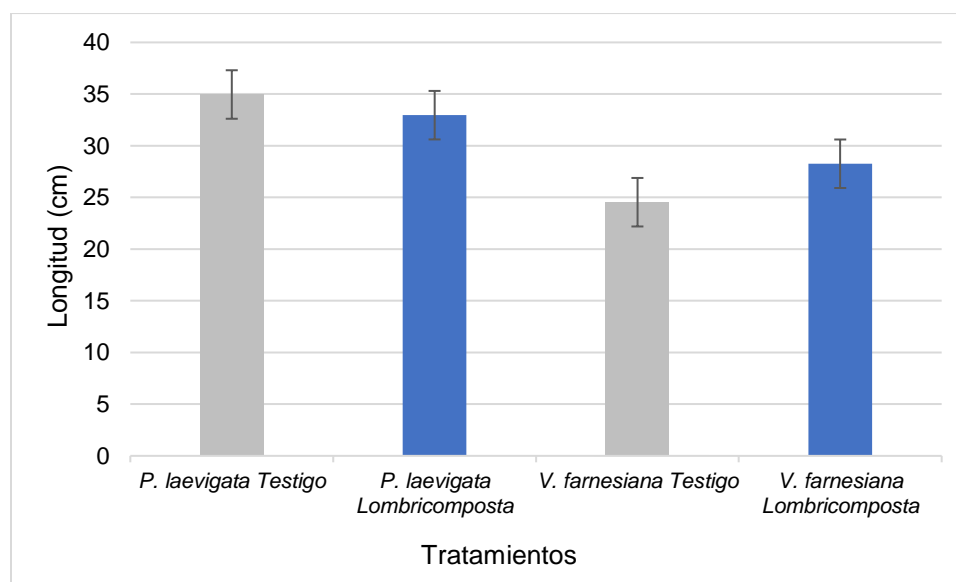


Figura 41. Cociente Raíz/Vástago de *P. laevigata* y *V. farnesiana* en ambos tratamientos.

En la figura 42 se observa el promedio total de la TCR en *P. laevigata* por lo que en el tratamiento testigo fue de 0.012688 ( $d^{-1}$ ) y 0.012428 ( $d^{-1}$ ) en lombricomposta, no se registraron diferencias significativas entre tratamientos  $p=0.750$ ,  $GL=27$ , valor  $T=0.32$ . En *V. farnesiana* el promedio total de TCR del tratamiento testigo fue 0.01527 ( $d^{-1}$ ) y 0.013254 ( $d^{-1}$ ) en lombricomposta (Figura 42), no se registró diferencias significativas en los tratamientos  $p=0.178$ ,  $GL=31$ , valor  $T=1.38$ .

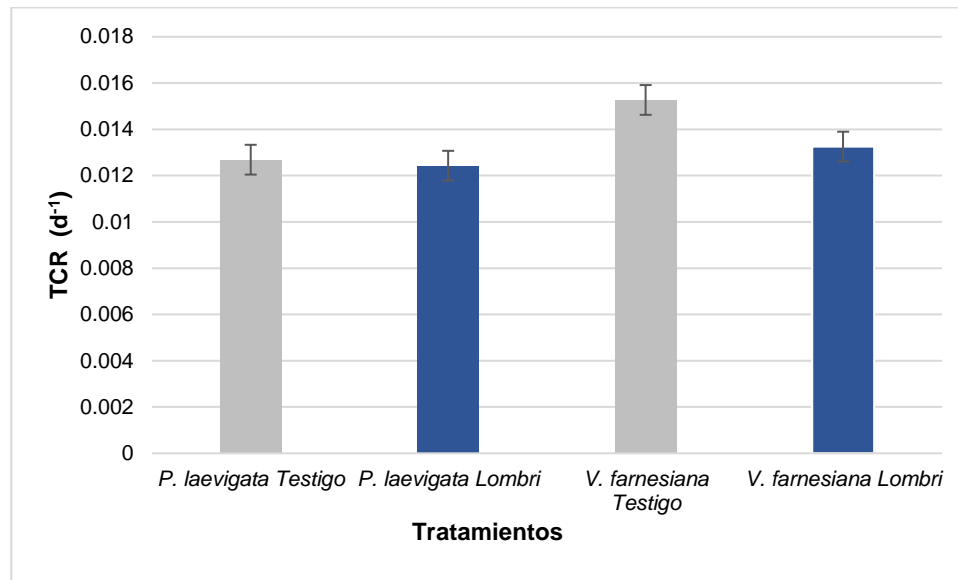


Figura 42. TCR en *P. laevigata* y *V. farnesiana* en ambos tratamientos.

## X. DISCUSIÓN

### 10.1 Propiedades del suelo y lombricomposta

Se encontró similitud en los resultados de las pruebas realizadas en las muestras de suelo y abono (sin mezclar con suelo), de modo que la densidad aparente mostro valores pequeños para el suelo y el abono. Según la FAO (2023), explica que valores menores de  $1.3 \text{ kg dm}^{-3}$  presentan una condición porosa del suelo, que no es necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas; aunque se sabe que el uso de la lombricomposta contribuye a una menor densidad aparente al añadirse a suelos pesados y compactos además de aumentar la unión de todas las partículas en los suelos arenosos (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022).

Los valores mayores a  $1.3 \text{ kg dm}^{-3}$  en este parámetro indican un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida, y cambios en la función hidrológica como es la reducción de la infiltración del agua (FAO, 2009). Este parámetro es importante debido a que determina la calidad del suelo, ayuda a interpretar la resistencia del suelo a la penetración y elongación de las raíces, así como la pérdida estructural del mismo, es decir, la compactación del suelo (Salazar *et al.*, 2020).

La densidad real de las partículas del suelo varía con la proporción de elementos que lo constituyen siendo que se obtuvo un valor cercano a  $2 \text{ g/cm}^3$  y de acuerdo con Buckman y Brady (1985), para la mayor parte de los suelos corrientes varían entre los estrechos límites de  $2.60$  a  $2.75 \text{ g/cm}^3$ ; debido a que son elementos como el cuarzo, feldspatos y silicatos coloides que por lo regular constituyen la mayor proporción de los suelos minerales. Villaseñor (2016) en la lombricomposta el valor de densidad real se encuentra entre  $1.2$  a  $1.7 \text{ g/cm}^3$  y varía con el contenido de materia orgánica y la composición de minerales, siendo que el resultado obtenido entra en el rango mencionado.

La densidad real es un valor muy útil que participa en el cálculo de propiedades del suelo como la porosidad y la distribución del tamaño de las partículas, para su determinación se utiliza un picnómetro o matraz volumétrico (Flores y Alcalá, 2010).

En la capacidad de campo en el suelo se obtuvo un valor del 49%, lo cual nos indica que se tiene una gran retención de agua en el suelo ya que de acuerdo con Garrido (1994), un valor mayor de 30% presenta una capacidad de campo elevada.

En el pH se obtuvo valores alrededor de 7, y de acuerdo con La Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023), las plantas se desarrollan mejor en un pH ligeramente ácido a neutro, entre 6.0 y 7.0. Es un factor importante en la retención de nitrógeno ya que este elemento se pierde como amoníaco volátil en un pH mayor (Garg *et al.*, 2006).

La conductividad eléctrica en el suelo y lombricomposta fue de 0.1 dS/m; determinando que no se presenta salinidad en ambos casos siendo que Benton (2001) explica que en un rango de 0.0 – 2.0 dS/m los efectos de la salinidad son insignificantes (no salino). Este parámetro en los suelos debe estar por debajo de 4 dS m<sup>-1</sup> para ser usados en la producción agrícola; sin embargo, un incremento en este puede deberse a la liberación de iones minerales como los contenidos en los abonos (Beltrán *et al.*, 2019).

El uso de un Kit de prueba rápida para medir el contenido de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el suelo ha sido empleado en otros trabajos como en el de Martínez y Herrera (2018) o Moreno *et al.* (2020). Por lo que se optó por su uso para el suelo y abono.

Se sabe que la lombricomposta es rica en nitrógeno, fósforo y potasio por lo que puede contener diferentes concentraciones ya que depende del tipo de desechos usados (Manyuchi y Phiri, 2013); sin embargo para este abono y el suelo empleado se mostro carencia de amonio de nitrógeno, aunque en la lombricomposta el nitrógeno se presenta en forma de nitratos (Thakur *et al.*, 2021); este elemento es esencial ya que es fundamental en el proceso de biosíntesis de clorofila, el añadir este elemento en el suelo tiene un efecto positivo en incrementar el contenido de clorofila (Yadav y Garp, 2015), pero la deficiencia de este elemento provoca una clorosis en las hojas inferiores y en caso de deficiencias agudas, éstas caen prematuramente (Rodríguez y Flórez, 2004).

Para ambos casos se obtuvo la misma concentración de fósforo, la disponibilidad de este elemento tanto en el suelo y lombricomposta es fundamental debido a que es el menos disponible y por ello se recurre a los fertilizantes inorgánicos, aunque existen alternativas más económicas mediante el uso de abonos orgánicos. (Beltrán *et al.*, 2019). El fósforo es importante en el metabolismo energético de la planta, forma parte de los ácidos nucleicos ADN y ARN y, participa en la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de almidón. (Rodríguez y Flórez, 2004).

Mientras que la concentración de potasio fue mayor en la lombricomposta lo cual pudo ser debido a que durante en su proceso de elaboración se incrementa el contenido de este elemento entre un 104 a 160% del material inicial (Beltrán *et al.*, 2019). El potasio es necesario su asimilación para las plantas porque regula la apertura estomatal la cual interviene para la absorción de CO<sub>2</sub> y el control de la transpiración y en algunos casos aumenta la afinidad por el sustrato (Rodríguez y Flórez, 2004). Contribuye a mantener niveles altos de turgencia a través de la retención de agua en las células, participa en la activación de enzimas en la fotosíntesis (Beltrán *et al.*, 2019).

## 10.2 Germinación

La germinación para *Prosopis laevigata* y *Vachellia farnesiana* fue cercana al 100 % utilizando como tratamiento pregerminativo la escarificación mecánica, y que de acuerdo con algunos autores como Illescas *et al.* (2021) su uso es eficiente para eliminar la latencia física de las semillas. Rivas *et al.* (2005) para la germinación de semillas de mezquite y huizache se llega a obtener un 100% de germinación utilizando escarificación mecánica al contrario de emplear una escarificación química con ácido sulfúrico donde se llegan a obtener porcentajes bajos de germinación.

## 10.3 Crecimiento

La ausencia de diferencias significativas entre tratamientos en los parámetros registrados como altura, pinnas, cobertura foliar, tasa de crecimiento relativo, cociente raíz/vástago, potencial hídrico foliar y en las diferentes biomasas: húmeda y seca de la parte aérea y radical así como de las biomasas totales húmeda y seca, a pesar de que se esperaba que en el tratamiento con lombricomposta se obtuvieran valores mayores siendo que este abono contiene ácidos húmicos que permiten la estimulación del crecimiento vegetal: desarrollo foliar, la elongación de la raíz y del tallo y floración (Domínguez, Lazcano y Gómez, 2010).

En este sentido, en la investigación de Sardoei (2014) encontró que para la planta de caléndula se obtuvo una mayor altura de 26.87 cm usando 20% de lombricomposta y con una menor altura entre los 19.12 cm y 21.06 cm al emplear 50 y 60% del abono por lo que sugiere que una gran cantidad de lombricomposta tiene un efecto negativo en la altura de las plantas; mientras en el trabajo de Quiroz y Rentería (2002) documentan que durante 4 meses el uso del 30% de lombricomposta en *Pinus oaxacana* se tuvo una altura máxima de 9.01 cm y en *Pinus rudis* la altura máxima que fue de 7.75 cm, la cual se obtuvo al emplear el 50% de lombricomposta. Si bien los autores mencionan que la lombricomposta tiene un efecto en la altura, en este trabajo se encontró que para ambas especies se mostró una mayor altura en los testigos a pesar de que se usó una concentración baja de abono.

Para el número de pinnas, se tiene antecedentes donde la lombricomposta aumenta el número de hojas, como documentan Ali y Kashem (2018) el número total de hojas de repollo aumentó significativamente en las plantas aplicadas de lombricomposta ( $5 \text{ ha}^{-1}$ ). Joshi y Vig (2010) el uso de lombricomposta en pequeñas cantidades es efectivo en la germinación, desarrollo, rendimiento y calidad de los tomates, se obtuvo un incremento el número de hojas de tomate teniendo un promedio de 105 al usar el 15% de este abono; sin embargo, para este trabajo el número de pinnas fue mayor en los testigos teniendo 40.49 en *Prosopis laevigata* y 84.59 para *Vachellia farnesiana* que en el tratamiento con lombricomposta.

En la cobertura foliar no se encontró literatura donde estuviera implicado el uso de este abono; sin embargo, fue en *V. farnesiana* que obtuvo un valor mayor en el testigo que con lombricomposta al contrario de *P. laevigata* donde para ambos tratamientos los valores fueron similares.

Arancon y Edwards (2005) han mencionado que la que la lombricomposta desarrolla la elongación de las raíces, esto es debido a que contiene un nutriente importante que es el potasio el cual es fundamental para el crecimiento de las raíces (INTAGRI S.C., 2021). Por lo que se realizó la medición de esta variable, pero solo en *V. farnesiana* mostro una diferencia significativa para el tratamiento con lombricomposta siendo que se obtuvo un promedio de 28.26 cm en este tratamiento siendo mayor que el del testigo.

En cuanto a la medición de clorofila fue la especie *V. farnesiana* que mostro diferencias en el tratamiento con lombricomposta respecto a su testigo, este puede ser debido a que la lombricomposta mejora el entorno del suelo permitiendo una mejor absorción de potasio; el cual es importante en el metabolismo de las plantas y es el constituyente clave de la clorofila, la biosíntesis, las proteínas, el ácido nucleico (Rakesh, Jaswinder y Adarsh, 2014).

Para confirmar lo anterior se tienen trabajos como el de Atiyeh *et al.* (2002) donde el uso del 10 a 20 % de lombricomposta aumenta la concentración de clorofila debido a que está compuesta de residuos de alimentos; también Yadav y Garg, (2015), explican que se obtiene un mayor contenido de clorofila en las hojas de garbanzo al emplear el 20 % de lombricomposta elaborada con estiércol de vaca, aunque Usmani *et al.* (2019) reportan un incremento en la clorofila a y b en las especies de plantas *Lycopersicon esculentum* y *Solanum melongena* usando concentraciones del 3, 6, 9, 12 y 15 % de lombricomposta, el incremento de la clorofila es importante porque indica que la planta presenta una mayor actividad fotosintética por lo cual mejora el crecimiento, el rendimiento en la biomasa, longitud de los brotes, el número de hojas, flores y frutos.

Como se menciona la lombricomposta influye en los pigmentos fotosintéticos, y aunque no se mostró relación de ésta y el color de hojas en ambas especies. Hernández *et al.* (2021) y Rodríguez *et al.* (2014) reportan que el color de hojas en *P. laevigata* es de color verde pálido a grisáceo y de acuerdo con las claves de color registradas, se presentó mayor frecuencia para ambos tratamientos los colores 2.5G 4/2 y 7.5GY 4/2 siendo una tonalidad verde oscuro de acuerdo con la Tabla de Munsell para tejidos vegetales; mientras que *V. farnesiana* presenta hojas de color gris blanquecino (Uji y Toruan, 1999), si bien se observó dicha coloración en algunas hojas también se presentó una mayor frecuencia en colores verdes como fue para las claves 7.5 GY 3/2, 7.5GY4/2 y 7.5GY 4/4.

No se encontró investigaciones anteriores que tomen en cuenta el cálculo de la tasa de crecimiento relativo; aunque se obtuvo en este trabajo valores entre 0.12 d<sup>-1</sup> a 0.15 d<sup>-1</sup>, los cuales se interpretan como la ganancia de biomasa en el tiempo, esta variable toma relevancia para el análisis del crecimiento en plantas (Mayo, Romo y Medina, 2018).

Los resultados del cociente raíz/vástago son menores a la unidad y de acuerdo con Mayo, Romo y Medina (2018), las plantas que presentan un valor en esta variable cercano a la unidad significan que las plantas asignan una cantidad similar de biomasa tanto para la raíz como para la parte aérea siendo que en la mayoría de las veces las plantas invierten más biomasa al sistema radical, provocando menor biomasa en la parte aérea. En el trabajo de Nazaridellou y Heidari (2014) quienes observaron una mayor relación de raíz/vástago al usar una cantidad de 2.5% de lombricomposta.

En cuanto a la hidratación de las plantas la medición del potencial hídrico foliar se obtuvieron valores desde -0.85 hasta -1.95 MPa para ambos tratamientos de *P. laevigata* y *V. farnesiana* indicando que contaban con una adecuada hidratación, ya que mientras más negativo es el potencial hídrico, mayor es el déficit hídrico o estrés que presenta la plantas (Sellés, Ferreira y Maldonado , 2002); aunque hubo algunos ejemplares que crecieron de manera arbustiva es decir; presentaban varios tallos por lo que seguramente presentaron un riego insuficiente.

El que ambas especies no presentaran una deficiencia o estrés hídrico es debido a que se tiene documentado que la lombricomposta retiene el agua para después tenerla disponible para las plantas, de igual forma el suelo empleado presentó una capacidad de campo elevada.

Por ultimo las diferentes biomásas pesadas no arrojaron diferencias estadísticas, pero para *V. farnesiana* se observó que el tratamiento con lombricomposta en las biomásas: húmeda y seca de la parte aérea y la biomasa húmeda total fueron mayores respecto a su testigo. En *P. laevigata* los valores de biomásas son similares, solamente en la biomasa seca total y las biomásas secas de la parte aérea y raíz resultaron mayores para el testigo pero fue en la biomasa húmeda total del tratamiento con lombricomposta presentó un resultado mayor.

De acuerdo a lo anterior, donde las biomásas con este abono fueron mayores, Blouin *et al.* (2019) mencionan que las plantas de la familia Fabaceae muestran un aumento en la biomasa total, biomasa del brote y biomasa de la raíz empleando lombricomposta. De acuerdo con Yadav y Garg (2015), reportan que se obtuvo una mayor biomasa húmeda del vástago en el garbanzo *Cicer arietinum* L. usando el 10% de lombricomposta; Diaz y Diaz (2009) comprueban que el uso de una concentración del 50% de lombricomposta presentó mayor cantidad de materia seca en el vástago y raíz en el frijol *Phaseolus vulgaris* (L.). Amooaghaie y Golmohammadi (2017) argumentan que la adición del 50 % de este abono favoreció a una máxima longitud, eficiencia fotosintética, peso fresco y seco en el tomillo.

Al realizar un contraste de la información del crecimiento de ambas especies y las propiedades del suelo, se puede explicar que la falta de diferencias significativas en las variables podría deberse a que los resultados obtenidos en las pruebas físicas y químicas del suelo y el abono mostraban resultados cercanos en cuanto a su densidad aparente, densidad real, pH y conductividad eléctrica, así como en la prueba de N, P y K por lo que tanto el suelo y la lombricomposta tenían las condiciones necesarias para que se desarrollaran las especies *P. laevigata* y *V. farnesiana*.

Si bien algunos autores como Sardoei (2014); Blouin *et al.* (2019); Ceritoglu *et al.* (2021); Diaz y Diaz (2009); Usmani *et al.* (2019) y Yadav y Garg (2015) sugieren usar concentraciones menores de lombricomposta para obtener alturas mayores, biomasa de brotes y raíces, número de hojas y flores, concentración de clorofila (a y b), peso de frutos y a pesar de usar una concentración pequeña del 10% de abono en este trabajo, el hecho de que en las diferentes variables presentaran valores mínimos en el tratamiento con lombricomposta puede ser debido a que en las macetas con lombricomposta, se utilizó un suelo que presentaba las mismas condiciones que este abono, además de tener una elevada cantidad de nutrientes específicamente fósforo y potasio en el suelo y lombricomposta que combinados presento un efecto negativo.

De acuerdo con lo anterior Atiye *et al.* (2002) sugieren el uso de cantidades como del 100 % de lombricomposta provoca una inhibición del crecimiento de las plantas por ejemplo presentar plántulas más cortas, menos hojas y disminución de la germinación. Arancon y Edwards (2005), las concentraciones altas de lombricomposta aumentan la conductividad eléctrica es decir aumenta el contenido de sal y los niveles excesivos de nutrientes.

A pesar de que el uso de la lombricomposta no mostró el efecto esperado se tiene que considerar varios factores para la implementación de este abono como las propiedades edáficas del suelo, emplear una cantidad adecuada de abono ya que concentraciones bajas generan un incremento proporcional en el crecimiento de la planta, mientras concentraciones mayores se observa una disminución de éste, aunque también la respuesta de las plantas depende de la composición del abono, es decir del proceso de lombricompostaje; ya que influye la materia orgánica empleada, modo de elaboración, tiempo de almacenamiento y la especie de lombriz (Domínguez, Lazcano y Gómez, 2010). Sin embargo, Díaz y Diaz (2009) proponen que para obtener resultados favorables en el desarrollo de las plantas se debe mezclar la lombricomposta con el suelo en proporciones iguales o bien mezclarla con fuentes de fertilizantes nitrogenadas.

## XI. CONCLUSIONES

La aplicación del 10% de lombricomposta no generó diferencias en el crecimiento de *P. laevigata* y *V. farnesiana* en las variables: altura, número de pinnas, cobertura foliar, cociente raíz/vástago, especialmente en las variables esperadas tasa de crecimiento relativo y las diferentes biomásas: húmeda y seca de las partes aérea y radical, aunque se observó que la especie *V. farnesiana* presentó mayor biomasa húmeda y seca.

Solamente los resultados en la concentración de clorofila y longitud de raíz mostraron una diferencia en el tratamiento con lombricomposta para *V. farnesiana* lo cual puede explicarse debido a que este abono contenía mayor concentración de potasio, el cual es importante para el crecimiento de raíces y el metabolismo de las plantas.

Por otra parte, los resultados referentes a las propiedades físicas y químicas de la lombricomposta (sin mezclar con el suelo) fueron los esperados de acuerdo con los antecedentes consultados por ejemplo un pH neutro o una conductividad eléctrica menor a  $4 \text{ dS m}^{-1}$ ; aunque la concentración de nitrógeno no fue la esperada ya que hubo una ausencia de este elemento que es característico en este abono. En el caso del suelo se presentó una gran capacidad de retención de agua además de tener una similitud en la densidad aparente, densidad real, concentración de fósforo y la conductividad eléctrica con el abono.

Si bien la información consultada menciona que el uso de la lombricomposta mejora las propiedades del suelo; sin embargo, en este trabajo se encontró que el suelo utilizado proveniente de un bosque templado mostraba las condiciones necesarias para que se desarrollaran las especies *P. laevigata* y *V. farnesiana* por lo que al elaborar un sustrato utilizando solamente suelo de bosque templado o una mezcla de este suelo con lombricomposta permitió que ambas especies lograrán establecerse y tener un crecimiento constante en cada sustrato.

## **XII. RECOMENDACIONES**

Para futuras investigaciones se puede considerar la aplicación de la lombricomposta desde la etapa germinativa en vez de realizar un trasplante de las plántulas a las macetas con este tratamiento ya que, la lombricomposta favorece la germinación. También cabe destacar que se necesita contemplar variables como la tasa de crecimiento relativo, cobertura foliar o el color de hojas debido a que no son tomadas en cuenta frecuentemente en investigaciones.

Por otra parte, se sugiere medir las propiedades físicas y químicas no solo del suelo y el abono como muestras individuales si no también del sustrato elaborado a partir de la mezcla del suelo y la lombricomposta con la finalidad de realizar una comparación entre ellos.

Como ultima recomendación se propone seleccionar alguna Dirección ambiental del Estado de México o de la CDMX que realice programas de reforestación empleando plantas de mezquite y huizache como por ejemplo el Centro de Educación Ambiental Yautlica – Alcaldía de Iztapalapa- o el Parque Ecológico Ehécatl – Municipio de Ecatepec-.

## XII. REFERENCIAS

- Adhikary, S. (2012). Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences*, 3(7), 905-9017. DOI:10.4236/as.2012.37110
- Ahirwar, C. S. & Hussain, A. (2015). Effect of vermicompost on growth, yield and quality of vegetable crops. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture*, 1(8), 49-56.
- Ali, S. & Kashem, M. A. (2018). Effect of Vermicompost on the Growth and Yield of Cabbage. *Journal of Agricultural Engineering and Food Technology*, 5(1), 45-49. <http://www.krishisanskriti.org/Publication.html>
- Altier, N., Beyhaut, E., Dalla Rizza, M., Rivas, F., & Brujas, I. L. (2012). Plataforma de bioinsumos de uso agrícola en base a microorganismos benéficos. *Revista INIA*, (29),47-50. <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429300612191129.pdf>
- Amooaghaie, R. & Golmohammadi, S. (2017). Effect of vermicompost on growth, essential oil, and health of *Thymus vulgaris*. *Compost Science & Utilization*, 25(3), 166-177. DOI:10.1080/1065657X.2016.1249314
- Ansari, A.A., & Ismail, S. A. (2012). Role of Earthworms in Vermitechnology. *Journal of Agricultural Technology*, 8(2), 403-415.
- Aramendis, R. Mondaini A. & Rodríguez, A. (2023). Bioinsumos de uso agrícola: situación y perspectivas en América Latina y el Caribe. Documentos de Proyectos (LC/TS.2023/149), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://ideas.repec.org/p/ecr/col022/68714.html>
- Arámbula, L. A. (2005). Problemática y alternativas de desarrollo de las zonas áridas y semiáridas de México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4(2), 17-21.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A. (2005). Effects of vermicomposts on plant growth. En *International Symposium Workshop on Vermitechnology*. Philippines .16-18.
- Atarés, L. M. (2015). Determinación de la porosidad. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52102/20.%20Art%EDculo%20docente.%20Determinaci%F3n%20de%20la%20porosidad.pdf?sequence=1>
- Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, 84(1), 7-14. DOI: 10.1016/S0960-8524(02)00017-2

- Azimova, S.S., Glushenkova, A.I. & Vinogradova, V. I. (2012). *Acacia farnesiana* (L.) Willd. Lipids, Lipophilic Components and Essential Oils from Plant Sources. Springer, 552–553. DOI:10.1007/978-0-85729-323-7\_1764
- Bullor, L., Braude, H., Monzón, J., Cotes Prado, A. M., Casavola, V., Carbajal Morón, N., & Risopoulos, J. (2023). Bioinsumos: Oportunidades de inversión en América Latina. Roma, FAO. DOI: 10.4060/cc9060es
- Blouin, M., Barrere, J., Meyer, N., Lartigue, S., Barot, S., & Mathieu, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth. A meta-analysis. Springer, 39(34), 1-15. DOI: 10.1007/s13593-019-0579-x
- Biblioteca Digital de la Medicina tradicional mexicana; UNAM. (2009). Atlas de las plantas de la Medicina Tradicional Mexicana: Mezquite. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=prosopis-laevigata>
- Biblioteca Digital de la Medicina tradicional mexicana; UNAM (2009). Atlas de las plantas de la Medicina Tradicional Mexicana: Huizache. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=acacia-farnesiana>
- Benton, J. (2001). Soil Analysis (Testing) en Laboratory guide for Conducting soil tests and plant analysis. Washinton D.C., CRC Press, 150-154.
- Buckman, H., Brady, N. (1985). Naturaleza y Propiedades de los suelos. Nueva York, UTHEA.
- Beltrán, F. A., Nieto, A., Murillo, J. S. A., Ruiz, F. H., Troyo, E., Alcalá, J. A. & Murillo, B. (2019). Contenido inorgánico de nitrógeno, fósforo y potasio de abonos de origen natural para su uso en agricultura orgánica. Terra Latinoamericana, 37(4), 371-378. DOI: 10.28940/terra.v37i4.520
- Capistrán, F., Aranda, E. & Romero, JC. (2001). El lombricompostaje en Manual de reciclaje, compostaje y Lombricultura. Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México. 81-141.
- Cedrés, M. (2016). Estrategias de propagación de *Prosopis alpataco* Phil. de la Patagonia norte [Tesis Doctoral disertación, Universidad Nacional de Río Negro, Sede Atlántica]. [https://rid.unrn.edu.ar/bitstream/20.500.12049/545/3/Cedres\\_Gazo.%20-2016.pdf](https://rid.unrn.edu.ar/bitstream/20.500.12049/545/3/Cedres_Gazo.%20-2016.pdf)
- Ceritoğlu, M., Şahin, S. & Erman, M. (2018). Effects of vermicompost on plant growth and soil structure. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences, 32(3), 607-615. DOI: 10.15316/SJAFS.2018.143

- Ceritoglu, M., Erman, M., Ceritoglu, F. & Bektas, H. (2021). The Response of Grain Legumes to Vermicompost at Germination and Seedling Stages. *Legume Reserch Internacional Journal*, 44(8), 936-941. DOI: 10.18805/LR-610
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) & Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (s.f.). *Prosopis laevigata* (Humb. Et Bonpl. Ex Willd). SIRE -Paquetes Tecnológicos  
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/988Prosopis%20laevigata.pdf>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) & Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (s.f.). *Acacia farnesiana* (L.) Willd. SIRE -Paquetes Tecnológicos  
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/874Acacia%20farnesiana.pdf>
- Correa, R., Segura, U. & Ortega, A. (2013). Generación de productos similares a la tierra de monte a partir de Lirio Acuático en el Área Natural Protegida Laguna de Yuriria, Guanajuato [Resumen de la presentación de la conferencia]. V. Congreso Internacional de la Ciencia de Sistemas, 1-11. DOI: 10.13140/2.1.3184.5763
- Correa, J.C., Iral, R. & Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística*, 29(1), 57-76
- Dash, J. (2020). *Vachellia farnesiana*. [Fotografía]. SEInet.  
<https://swbiodiversity.org/seinet/taxa/index.php?taxon=acacia%20farnesiana>
- De Gante Cabrera, V. H. (2013). La lombricultura: alternativa a la disposición final de residuos domiciliarios. *Elementos* (89), 44-46.
- Domínguez, J., Aira, M. & Gómez, M. (2010). Vermicomposting: earthworms enhance the work of microbes en H. Insam, I. Franke & M. Goberna (Eds.), *Microbes at work: from wastes to resources* (pp 93-114). Springer. DOI10.1007/978-3-642-04043-6\_5
- Domínguez, J., Lazcano, C., & Gómez, M. (2010). Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(2), 359-371. DOI: 10.21829/azm.2010.262900
- Díaz, M. A. & Díaz, R. (2009). Efecto de fertilizantes nitrogenados y lombricomposta en la distribución de materia seca y nodulación en frijol. *Agricultura Sostenible*. Universidad Autónoma de Chiapas, Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible, AC, 318-328.
- Erkovan, H. İ., Clarke, P. J. & Whalley, R. D. (2016). A review on General Description of *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, Journal of the Agricultural Faculty*, 47(1), 71-76.

- Elissen, H. J. H., R. van der Weide & L. Gollenbeek. (2023). Effects of vermicompost on plant and soil characteristics. WAGENINGEN University y Research 1-23. DOI:10.18174/587210
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Organización de las Naciones Unidas. Roma. 1-19. Consultado el 25 de marzo de 2023 <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- FAO. (2023). Portal de Suelos de FAO. Consultado el 23 de marzo de 2023 <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/#:~:text=La%20densidad%20real%2C%20de%20las,part%C3%ADculas%20granulares%20como%20la%20arena.>
- Flores, C. M. (2016). Reunión Nacional de Zonas Áridas. Revista Fitotecnia Mexicana, 39(1), 7-8. [https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/39-1/reunion\\_zonas\\_aridas.pdf](https://revistafitotecniamexicana.org/documentos/39-1/reunion_zonas_aridas.pdf)
- Flores, L., Alcalá, J. (2010). Manual de procedimientos analíticos: laboratorio de física de suelos. Departamento de Edafología, Instituto de Geología UNAM. <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Garrido Valero, M.S. (1994). Interpretación de análisis de suelos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Madrid, 1-39. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1993\\_05.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf)
- Garg P., Gupta, A. & Satya, S. (2006). Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. Bioresource Technology, 97, 391-395. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.03.009
- García, C., Álvarez, S., Bonilla, C., González, M., Córdoba, M., Morales, S. & Monarrez, A. (2023). Micropropagación de *Vachellia spp.* como una alternativa para la reforestación de zonas desérticas en México. Cultivos tropicales. 44(2). <https://cuid.com/2050/v44n2e10>
- Giménez López, R. (2017). Quiebra de dormencia y emergencia de semillas de *Annona muricata* L. en el distrito de pedro juan caballero [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Asunción, Paraguay]. <http://hdl.handle.net/20.500.14066/4141>
- González, M., Cabirol, N., Rojas, M. (2021). Assessment of the ancestral use of garlic (*Allium sativum*) and nettle (*Urtica dioica*) as botanical insecticides in the protection of mezquite (*Prosopis laevigata*) seeds against bruchins. Journal of Plant Protection Research, 61(2), 170-175. DOI:10.24425/jppr.2021.137023

- González, C. F., Monroy, A., García, E. M. & Orozco, M. S. (2005). Influencia de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) en el desarrollo de plántulas de *Opuntia streptacantha* Lem. sometidas a sequía, en condiciones de invernadero. TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 8(1), 5-10.
- Gutiérrez, C. & Herrán, J.A. (2014). Manual para la producción de abonos orgánicos y biorracionales (1 ed., pp 9-143). Fundación Produce Sinaloa, A.C. México. [https://www.ciaorganico.net/documypublic/271\\_Manual\\_para\\_la\\_produccion\\_de\\_abonos\\_organicos\\_y\\_biorracionales.pdf](https://www.ciaorganico.net/documypublic/271_Manual_para_la_produccion_de_abonos_organicos_y_biorracionales.pdf)
- Heike, V. (2009). Malezas de México: *Acacia farnesiana* (L.) Willd. Huizache. Consultado el 30 de abril de 2024 <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/mimosaceae/acaciafarnesiana/fichas/ficha.htm>
- Hernández, F., Vega, M.A., Rodríguez, A., Bonilla, R., Pimentel, L., Hernández, D., Gil, J.A. & Mohedano, L. (2021). *Prosopis laevigata* (H.&B. ex Willd.) M.C. Johnst. (Fabaceae) Semillas de Especies Forestales. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. 285-293
- Illescas, E., Rodríguez, D.A., Villanueva, A., Borja de la Rosa, M.A., Ortega, L. & Ordóñez, C. (2021). *Vachellia farnesiana* L. (Wight) & Arn. (Fabaceae). Semillas de Especies Forestales. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo Edo. de Méx. 401- 406
- INTAGRI S.C. (2021). Las funciones del potasio en la nutrición vegetal. Consultado el 20 de julio de 2024 de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/las-funciones-del-potasio-en-la-nutricion-vegetal>
- Joshi, R. & Vig, A. P. (2010). Effect of vermicompost on growth, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). African Journal of Basic & Applied Sciences, 2(3-4), 117-123.
- Kaur, T. (2020). Vermicomposting: An effective option for recycling organic wastes.S, Kumar (ed), Organic Agriculture, (pp 1-17). IntechOpen. DOI:10.5772/intechopen.91892
- Lagler, J. C. (2017). Bioinsumos: distintas percepciones haciendo foco en la fertilización biológica. Agronomía y Ambiente. Revista de la Facultad de Agronomía UBA, 37(1), 73-89.
- López, A. M., Poot, J. E.M., & Mijangos, M. A.C. (2012). Respuesta del chile habanero (*Capsicum chinense* L. Jacq) al suministro de abono orgánico en Tabasco, México. Revista Científica UDO Agrícola, 12(2), 307-312.

- Luna, A., Martínez, R. & Alemán, M.E. (2022). El mezquite un “superalimento” ancestral. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, (115), 20-29.
- Makings, L. Pinna de *Vachellia farnesiana* [Fotografía]. SEInet <https://swbiodiversity.org/seinet/taxa/index.php?taxon=acacia%20farnesiana>
- Martínez, E. I. R. & Herrera, I. D. J. C. (2018). Elaboración y Análisis de Lombricomposta para su Aprovechamiento en Áreas Arboladas de la Enmsi. *Jóvenes en la Ciencia*, 4(1), 55-60.
- Mamani de Marchese, A. & Filippone, M. P. (2018). Bioinsumos: componentes claves de una agricultura sostenible. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 38(1), 9-21.
- Manyuchi, M.M. & Phiri, A. (2013). Vermicomposting in Solid Waste Management: a review. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 2(12), 1234-1242.
- Mayo, M., Romo, R. L. & Medina, P. (2018). Tasa relativa de crecimiento de herbáceas con potencial de restauración en suelos degradados del bosque La Primavera, Jalisco, México. *Acta Universitaria*, 28(2), 58-66. DOI: 10.15174/ au.2018.193
- Minitab. (2024). Seleccionar las opciones de análisis para Prueba de igualdad de varianzas. Consultado el 10 de julio de 2024 de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/anova/how-to/test-for-equal-variances/perform-the-analysis/select-the-analysis-options/>
- Molina, M. (2023). Prueba de la U de Mann-Whitney. *Ciencias o letras. Revista electrónica de AnestesiaR*, 14(8). DOI: 10.30445/rear.v14i8.1060
- Montesinos, E. (2014). Bioplaguicidas. Seguridad, mitos y realidades. *PHYTOMA*. España, (263), 33-36.
- Moradi, H., Fahramand, M., Sobhkhizi, A., Adibian, M., Noori, M., Abdollahi, S. & Rigi, K. (2014). Effect of vermicompost on plant growth and its relationship with soil properties. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 3(3), 333-338.
- Monroy, A. & García, R. (2009). Los hongos micorrizógenos arbusculares en prácticas de restauración de Vegetación semiárida en Plantas y hongos micorrizas arbusculares: un mutualismo esencial en zonas semiáridas (1 ed., pp 11-23). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. CDMX, México.
- Moreno, B., Ramírez, V., Zavala, R. & González C. (2020). Análisis espectroscópico de materiales orgánicos susceptibles a procesos de transformación. *ECOFRAN-Journal Bolivia*, 7(13), 1-6. DOI: 10.35429/EJB.2020.13.7.1.6
- Nava, E., García, C., Camacho, R. & Vázquez, E. (2012). Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. *Ra Ximhai*, 8(3), 17-29.

- Nagavallema, K. P. Wani, S. P., Lacroix, S., Padmaja, V. V., Vineela, C., Rao, M. B., & Sahrawat, K. L. (2006). Vermicomposting: recycling wastes into valuable organic fertilizer. *Journal of SAT Agricultural Research*, 2(1), 1-17.
- Nazarideljou, M. J. & Heidari, Z. (2014). Effects of vermicompost on growth parameters, water use efficiency and quality of zinnia bedding plants (*Zinnia elegance* 'Dreamland Red') under different irrigation regimes. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 1(2), 141-150.
- Ormeño, M., & Ovalle, A. (2007). Preparación y aplicación de abonos orgánicos. *Ciencia y producción vegetal*, INIA Divulga, 10, 29-35.
- Pablo, E. & Arredono, J. (2019). Establecimiento de plántulas de *Prosopis laevigata*, inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares cultivadas con *Agave salmiana* y *Cynodon dactylon*, bajo condiciones de laboratorio. [Tesis de licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM]. Repositorio Institucional TESIUNAM
- Paz, S. (2021). El mezquite, una lucha para evitar su erosión cultural y ambiental. Consultado el 21 de abril de 2024 de <https://www.fciencias.unam.mx/noticias/el-mezquite-lucha-por-evitar-erosion-cultural-y-ambiental>
- Parrotta, J. (2000). *Acacia farnesiana* (L.) Willd. Aroma, huizache. Bioecología de Árboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. General Technical Report IITF-115. USDA Forest Service International Institute of Tropical Forestry, Rio Piedras, PR, 6-10. DOI: 10.13140/RG.2.1.1928.4562
- Pérez, M.P & Herrera, K.H. (2022). Vermicompostaje: un camino a la sustentabilidad. *RD ICUAP*, 8(24), 70-82.
- Quiroz, M. T.A, & Rentería, A.A. (2002). Efecto de la lombricomposta como sustrato alternativo en la germinación y crecimiento inicial de *Pinus oaxacana* Mirov. y *Pinus rudis* Endl. *Foresta Veracruzana Recursos Genéticos Forestales*, 4(1), 35-40.
- Rakesh, J., Jaswinder, S., & Adarsh, P. (2015). Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. 14(1). 137-159. *Springer Science*. DOI:10.1007/s11157-014-9347-1
- Rodríguez, E., Rojo, E., Ramírez, B., Martínez, R., Cong, M. D.L.C., Medina, S. M. & Piña, H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173-193. DOI: 10.35197/rx.10.01.e.2014.13.er
- Ruiz, M. (2011). Lombricultura. Taller de lombricomposta: porque tener lombrices nos beneficia a todos (1 ed., pp 1-23). México. Universidad Iberoamericana A.C.

- Ruiz, F. P. (2008). Factores limitantes y estrategias de establecimiento de plantas leñosas en ambientes semiáridos. Implicaciones para la restauración. *Ecosistemas*, 17(1), 155-159.
- Retureta, A., Tinoco, C., Castillo, G. & Carrión, N. (2014). Comparación de sustratos para producción de caoba *Swietenia macrophylla* King, con semillas colectadas del río Michapan de Acayucan, Veracruz, México. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*. 2(1), 81-85. DOI:10.47808/revistabioagro.v2i1.250
- Rivas, G., González, G., Valencia, C., Sánchez, I. & Villanueva, J. (2005). Morfología y escarificación de la semilla de mezquite, huizache y ahuehuete. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 43(3), 441-448.
- Rivas, R., Moreno, J. & Talavera, J. (2013). Diferencias de medianas con la U de Mann-Whitney. *Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social*, 51(4), 414-419.
- Rojas, J. & Peña, S. (2012). Densidad aparente: Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa. INTA. [https://www.fermojica.com/sca/documentos/densidad\\_aparente.pdf](https://www.fermojica.com/sca/documentos/densidad_aparente.pdf)
- Ríos, R. (1985). Laboratorio Integral de Biología 4. Practicas del Módulo de suelo. CDMX.UNAM. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Consultado el 14 de octubre de 2022
- Rodríguez, M. & Flórez, V. (2004). Nociones Básicas del Ferti-Riego: Elementos esenciales y beneficiosos en J.M, Guzmán & J. López (eds), Ferti-Riego: Tecnologías y Programación en Agroplasticultura (1 ed, 25-36). Madrid, España. Cooperación Iberoamericana CYTED.
- Salazar, U. I. (2017). Establecimiento de *Prosopis Laevigata* y *Opuntia streptacantha* inoculadas con hongos micorrízicos arbusculares y *Azospirillum brasilense* en condiciones de invernadero [Tesis de licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM]. Repositorio Institucional TESIUNAM
- Salazar, C., González, J., Corrales, D., Lacayo, J., Carrillo, K. & Montero, H. (2020). Comparación de dos métodos para la determinación de la densidad aparente del suelo. *Alcances Tecnológicos*, 13(1), 5-12. DOI: 10.35486/at.v13i1.164
- Saldaña, R. (2011). La prueba de chi-cuadrado o ji-cuadrado ( $X^2$ ). *Revista Enfermería del Trabajo*, 1(1), 31-38.
- Sánchez, R. (2015). t-Student: Usos y abusos. *Revista Mexicana de Cardiología*, 26(1), 59-61.
- Sánchez, S. (2014). Análisis Físico-Químico de Suelos y Sedimentos. Escuela Nacional de Antropología e Historia, Distrito Federal., 1-26.

- Sardoei, A. (2014). Vermicompost effects on the growth and flowering of marigold (*Calendula officinalis*). *European Journal of Experimental Biology*, 4(1), 651-655.
- Sellés, G., Ferreira, R. & Maldonado, P. (2002). Cámara de presión: instrumento para controlar el riego a través de mediciones del estado hídrico de las plantas. *Aconex*, 76(1), 18-22.
- Senillani, M. G., Guzmán, A. D. V., Gomez, A., Santa cruz, A., Sagadin, M. & Ewens, M. (2023). Los bioinsumos en el mundo forestal: ¿mejoran el crecimiento en vivero de plantas de algarrobo blanco?. INTA, Colegio de Graduados en Ciencias Forestales de Santiago de Estero. 10-14. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/17184>
- Shaxson, F. & Barber, R. (2005). Hidrología, arquitectura del suelo y movimiento del agua: Arquitectura del suelo e Importancia de los espacios de poros en el suelo en Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal (Boletines de Suelos de la Fao). Roma, Italia. Food and Agriculture Org. <http://www.fao.org/docrep/006/Y4690E/Y4690E00.HTM>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural; INIFAP. (2022). Humus De Lombriz en Manuales Prácticos para la elaboración de Bioinsumos (Vol. 14, pp 33). México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737318/14\\_Humus\\_de\\_lombriz.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737318/14_Humus_de_lombriz.pdf)
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). ¿Qué tanto sabes del pH del suelo?. Consultado el 15 de febrero de 2023 de [https://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-tanto-sabes-del-ph-del-suelo?fbclid=WAR3R80njSqB6nvpGOtk1ucC2wn8fhH5iPcxzWI\\_rVZ4kEP9DRKw0ukQ3I](https://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-tanto-sabes-del-ph-del-suelo?fbclid=WAR3R80njSqB6nvpGOtk1ucC2wn8fhH5iPcxzWI_rVZ4kEP9DRKw0ukQ3I)
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). Contribuciones a la Estrategia Nacional de Suelo para la Agricultura Sostenible -2022- Comité Sectorial de Suelo para la Agricultura Sostenible. COSESAS, (1 ed, pp 1-275). [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/803152/Contribuciones\\_a\\_la\\_EN\\_ASAS\\_2022.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/803152/Contribuciones_a_la_EN_ASAS_2022.pdf)
- Schuldt, M. (2006). Lombricultura. Teoría y práctica. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 1-307.
- Suárez, D. & Melgarejo, L. M. (2010). Biología y germinación de semillas en Experimentos en fisiología vegetal (1 ed., pp 13-25). Colombia. Universidad Nacional de Colombia. <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2019/02/Melgarejo-2010.pdf>
- Tapia, F., Ernesto, C., Cevallos, F & Lissette, K. (2021). Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov. *Societas, Revista de Ciencias Sociales y Humanísticas*, 23(2),83-97

- Torres A, A. (2005). Establecimiento de plántulas de mezquite (*Prosopis laevigata*) inoculadas con hongos micorrizógenos arbusculares (*HMA*) bajo condiciones de sequía en invernadero. [Tesis de licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM]. Repositorio Institucional TESIUNAM
- Toor, M., & Kizilkaya, R. (2022). Vermicompost: A gateway to sustainable agriculture production [Conference]. En International Soil Science Symposium on “Soil Science & Plant Nutrition, 118-123. <https://www.fesss.org/uploadfile/1671012304.pdf>
- Thakur, A., Kumar, A., Kumar, C. V., Kiran, B. S., Kumar, S. & Athokpam, V. (2021). A review on vermicomposting: by-products and its importance. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 22, 156-164.
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. (2024). *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. Consultado en el 27 de abril de 2024 de <https://www.tropicos.org/name/13015302>
- Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. (2024). *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn. var. *Farnesiana*. Consultado el 29 de abril de 2024 de <https://www.tropicos.org/name/Search?name=Vachellia%20farnesiana>
- Uji, T. & Toruan-Purba, A.V., (1999). *Acacia farnesiana* (L.) Willd. PROSEA, Foundation, Bogor, Indonesia. <https://prosea.prota4u.org/view.aspx?id=651>
- Usmani, Z., Kumar, V., Gupta, P., Gupta, G., Rani, R. & Chandra, A. (2019). Enhanced soil fertility, plant growth promotion and microbial enzymatic activities of vermicomposted fly ash. *Scientific Reports*, 9(1), 1-16. DOI:10.1038/s41598-019-46821-5
- Villarreal, J. A., Rocha, A., Cárdenas, M. L., Moreno, S., González, M. & Vargas, V. (2013). Caracterización morfométrica, viabilidad y germinación de semillas de mezquite y huizache en el noreste de México. *Revista Phytón*, 82(2), 169-174.
- Villegas, V. & Laines, J. (2017). Vermicompostaje: II avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.*, 8(2). 407- 421. DOI:10.29312/remexca.v8i2.60
- Villaseñor, D. (2016). Fundamentos y procedimientos para análisis físico-morfológicos de suelos. (1-76). Universidad Técnica de Machala: Machala, Ecuador. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS%20Y%20PROCEDIMIENTOS.pdf>
- Vuković, A., Velki, M., Ečimović, S., Vuković, R., Štolfa Čamagajevac, I., & Lončarić, Z. (2021). Vermicomposting: Facts, benefits and Knowledge gaps. *Agronomy*, 11(10), 1-15. DOI: 10.3390/ agronomy11101952
- Wynn, A. (2014). *Prosopis laevigata*. [Fotografía]. CalPhotos, Photo Database. [https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img\\_query?enlarge=0000+0000+0314+1333](https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?enlarge=0000+0000+0314+1333)

- Wynn, A. (2014). Fruto de *Prosopis laevigata* [Fotografía]. CalPhotos, Photo Database. [dehttps://calphotos.berkeley.edu/cgi/img\\_query?enlarge=0000+0000+0314+1334](https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?enlarge=0000+0000+0314+1334)
- Wynn, A. (2017). Pinnas de *Prosopis laevigata* [Fotografía]. CalPhotos, Photo Database. [https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img\\_query?enlarge=0000+0000+0917+2753](https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?enlarge=0000+0000+0917+2753)
- Wynn, A. (2017). Fruto y Flores de *Vachellia farnesiana* [Fotografía]. CalPhotos, Photo Database. [https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img\\_query?enlarge=0000+0000+1117+1363](https://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?enlarge=0000+0000+1117+1363)
- Yugsi, L. (2011). Elaboración del Humus de Lombriz en Elaboración y uso de abonos orgánicos, Guía de campo para capacitación a capacitadores. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Quito-Ecuador, 23-27.
- Yadav, A. & Garg, V. K. (2015). Influence of vermi-fortification on chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth and photosynthetic pigments. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 4, 299-305. DOI 10.1007/s40093-015-0109-z