

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EVALUACIÓN DE ENMIENDAS ORGANO-MINERALES EN
ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L. var. *Genovese*) CON DIFERENTES
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Tesis

Que presenta LEONEL GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ

Como

requisito parcial para obtener el grado de

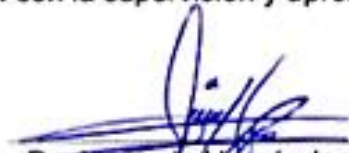
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila

Noviembre 2025

**"EVALUACIÓN DE ENMIENDAS ORGANO-MINERALES EN
ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L. var. *Genovese*) CON DIFERENTES
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN"**

Elaborada por LEONEL GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ como requisito parcial para
obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS
DE PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación del comité de asesoría


Dr. Armando Hernández Pérez
Director de tesis


Dr. Alejandro Zermeño González
Asesor


Dr. Eduardo Alberto Lara Reimers
Asesor


Dr. Homero Ramírez Rodríguez
Asesor


Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Saltillo, Coahuila

Noviembre, 2025

AGRADECIMIENTOS

A través de estas palabras quiero expresar el más profundo agradecimiento a todos aquellos que hicieron posible, mediante su apoyo, guía y aportes científicos, la realización de este trabajo. En primer lugar, agradezco a Dios, por ser mi refugio en los momentos de dificultad, por darme fortaleza cuando quería rendirme y por brindarme la esperanza necesaria para seguir adelante en cada paso de este proceso.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por acogerme y brindarme la oportunidad de recibir esta formación, a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo económico brindado para la realización de este trabajo.

Al director de la tesis, Dr. Armando Hernández Pérez por su orientación y crítica acertada que me permitió enriquecer este trabajo a través de sus conocimientos y experiencia.

Extiendo mi gratitud a todas las personas que, con su experiencia, conocimientos y compromiso, contribuyeron de manera significativa a este proyecto. Este trabajo es el resultado no solo del esfuerzo individual, sino también del acompañamiento humano y profesional que encontré en cada etapa. A todos ellos, gracias por creer en mí y por aportar con generosidad a la construcción de este logro.

DEDICATORIA

Gracias Dios, por darme un día más y los años que deseas darme.

No sé cuánto tiempo me quede, pero sé que cada segundo es un regalo que valoro con todo mi corazón.

Gracias por la oportunidad de seguir respirando, de ver a quienes amo, de sentir el amanecer y anochecer, de cerrar los ojos y seguir soñando.

En medio de la incertidumbre, Tú me sostienes.

En la fragilidad de mi cuerpo, siento Tú fuerza.

En el miedo, encuentro Tú paz.

Gracias por no soltarme.

Gracias por permitirme seguir escribiendo esta historia.

Gracias por enseñarme que incluso en la enfermedad, adversidad, risas o halagos hay vida, amor y un propósito.

Amén.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Índice general.....	v
Lista de cuadros.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	3
Objetivo específico.....	3
HIPÓTESIS.....	3
LITERATURA REVISADA.....	4
Origen, clasificación botánica y generalidades del cultivo.....	4
Producción mundial.....	6
Producción nacional.....	6
Principales mercados.....	7
Características de calidad.....	7
Requisitos climáticos.....	8
Requerimientos del suelo.....	8
Requerimientos hídricos.....	8
Crecimiento y cuidados.....	8
Plagas.....	8
Enfermedades.....	10
Cosecha.....	10
Fertirriego.....	11
Beneficios del fertirriego.....	11
Lixiviado.....	12
Beneficios de la lixiviado.....	13
Lombricomposta.....	14
Beneficios de la lombricomposta.....	15

Solución Steiner.....	16
Beneficios de la solución Steiner.....	16
MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
Ubicación del experimento.....	18
Preparación del sitio.....	18
Establecimiento del experimento	18
Manejo de las plantas y tratamientos.....	19
Variables agronómicas.....	20
Diseño experimental y tratamientos evaluados.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
Biomasa fresca de hoja.....	24
Biomasa seca de hoja.....	26
Altura de la planta.....	28
Longitud de hoja.....	30
Ancho de hoja.....	32
Número de brotes.....	34
CONCLUSIONES.....	35
REFERENCIAS.....	36

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características químicas y físicas del lixiviado de lombriz.....	13
Cuadro 2. Efecto del ambiente y los biofertilizantes en el crecimiento y acumulación de biomasa de hojas de albahaca cv. genovese.....	21
Figura 1. Efecto de la interacción entre biofertilizantes y ambientes en la acumulación de biomasa fresca de hoja de albahaca var. genovese.....	24
Figura 2. Efecto de la interacción entre biofertilizantes y ambientes en la acumulación de biomasa seca de hoja de albahaca var. genovese.....	26
Figura 3. Efecto de la interacción entre biofertilizantes y ambientes en la altura de la planta de albahaca var. genovese.....	28
Figura 4. Efecto de la interacción entre biofertilizantes y ambientes en la longitud de hoja de albahaca var. genovese.....	30
Figura 5. Efecto de la interacción entre biofertilizantes y ambientes en el ancho de hoja de albahaca var. genovese.....	32
Figura 6. Efecto de la interacción entre biofertilizantes y ambientes en el número de brotes de las plantas de albahaca var. genovese.....	34

RESUMEN

“EVALUACIÓN DE ENMIENDAS ORGANO-MINERALES EN
ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L. var. *Genovese*) CON DIFERENTES
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN”

Por:

LEONEL GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. ARMANDO HERNÁNDEZ PÉREZ -ASESOR-

Saltillo, Coahuila

Noviembre 2025

La lombricultura es una técnica de manejo de lombrices rojas (*Eisenia foetida*), con el fin de transformar residuos orgánicos en lombricomposta o lixiviado de lombriz. La albahaca es una planta aromática con propiedades medicinales. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de los biofertilizantes para el incremento de la producción de biomasa en el cultivo de albahaca. Se evaluaron cuatro tratamientos (Lombricomposta, Lixiviado, Lombricomposta + Lixiviado, y un testigo con solución Steiner), bajo dos sistemas de producción (campo abierto e invernadero), en total ocho tratamientos con cuatro repeticiones. El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial de 2 x 4. Se evaluaron biomasa fresca y seca, la altura de la planta, número de brotes, longitud y ancho de hoja. El tipo de ambiente, así como el uso de biofertilizantes influyen significativamente en el desarrollo del cultivo de albahaca cv. Genovese. La combinación de lombricomposta + lixiviado fue el tratamiento más efectivo en ambos ambientes, superando incluso al testigo químico (solución Steiner), destacando este bajo invernadero, donde se obtuvo un incremento del 30.7% en biomasa y 37.2% en altura de planta respecto al campo. Las plantas desarrolladas bajo invernadero incrementaron el rendimiento de biomasa fresca y seca, así como la altura de la planta, número de brotes, longitud y ancho de hoja. La combinación de lombricomposta más lixiviado de lombriz mejoró el rendimiento en ambos ambientes.

Palabras clave: Lombricomposta, lixiviado de lombriz, biofertilizantes, albahaca, invernadero

ABSTRACT

“Evaluation of Organo-Mineral Amendments in Basil (*Ocimum basilicum* L. var. Genovese) Under Different Production Systems”

By:

LEONEL GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. ARMANDO HERNÁNDEZ PÉREZ -ASESOR-

Saltillo, Coahuila

November 2025

Vermiculture is a technique for managing red worms (*Eisenia foetida*) in order to transform organic waste into vermicompost or worm leachate. Basil is an aromatic plant with medicinal properties. The objective of the study was to determine the effect of biofertilizers on increasing biomass production in basil crops. Four treatments were evaluated (vermicompost, leachate, and a combination of vermicompost + leachate), along with a control using Steiner solution, under two production systems (open-field cultivation and greenhouse), for a total of eight treatments with four replications each. The experimental design was completely randomized with a 2 x 4 factorial arrangement. Fresh and dry biomass, as well as plant height, number of shoots, and leaf length and width were evaluated. The type of environment, as well as the use of biofertilizers, significantly influenced the development of basil cv. Genovese. The combination of vermicompost + worm leachate was the most effective treatment in both environments, even outperforming the chemical control (Steiner solution). Its best performance was in the greenhouse, where a 30.7% increase in biomass and a 37.2% increase in plant height were obtained compared to open-field cultivation. Plants grown in the greenhouse showed higher yields of fresh and dry biomass, greater height, more shoots, and larger leaves. The combination of vermicompost plus worm leachate improved performance in both environments.

Index words: Vermicompost; worm leachate; biofertilizers; basil; greenhouse.

INTRODUCCIÓN

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es una planta aromática que se utiliza en diversas formas, incluyendo como especia, medicina, alimento u ornamental, además de servir como materia prima para distintas industrias. Su demanda en Europa es significativa, ya que es uno de los ingredientes principales en la elaboración de salsas para pizzas y espaguetis, entre otros platillos de la cocina italiana (Farías *et al.*, 2022). En México, la superficie cultivada de albahaca supera las 400 hectáreas, de las cuales 208 hectáreas están destinadas a la producción orgánica, 5 hectáreas se cultivan en invernaderos y el resto se produce bajo un régimen convencional (Juárez *et al.*, 2013). Los estados productores de albahaca en diferentes tipos de producción son: Baja California (invernadero), Morelos, Nayarit (convencional) y Baja California Sur (orgánico), siendo este estado el mayor productor de ésta hierba (Sánchez y Lucero., 2012), donde se concentra el 98% de las hectáreas dedicadas a la producción orgánica de albahaca, lo que destaca a este estado en el contexto nacional, dado que casi toda su producción se exporta, principalmente a Estados Unidos e Italia (Ojeda *et al.*, 2015).

En las dos últimas décadas, uno de los principales objetivos de la agricultura fue reducir el uso de agroquímicos, ya que su aplicación constante causa daños a la salud humana, animal y al medio ambiente, una alternativa a los agroquímicos es la fertilización orgánica, que proporciona a las plantas los nutrientes necesarios a través de diversas prácticas como la lombricomposta y los lixiviados (Figuroa, 2018), estas alternativas demostraron tener la capacidad de promover, tanto de manera directa como indirecta, el crecimiento de la mayoría de las plantas hortícolas (Rodríguez *et al.*, 2021). La implementación de la lombricultura en la producción de hortalizas no solo mejora la calidad del suelo y la salud de las plantas, sino que también contribuye a un aumento significativo en los rendimientos. Su capacidad para proporcionar los nutrientes necesarios a las plantas y protegerlas contra enfermedades lo convierte en una herramienta valiosa

para los agricultores que buscan prácticas más sostenibles y efectivas en la agricultura orgánica (Domínguez 2004), así como el lixiviado de lombriz, también nombrado humus líquido, es un fertilizante natural que se obtiene a través de la descomposición de materia orgánica por lombrices, en particular la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Este líquido concentrado es rico en nutrientes y microorganismos beneficiosos, lo que lo convierte en un recurso valioso para la fertilización orgánica y el desarrollo de las plantas (Martínez y Ruiz 2018), mientras Aira *et al.*, (2023) que, menciona el derivado importante de este proceso es la vermicomposta, esto consiste en convertir residuos orgánicos en un abono natural altamente nutritivo conocido como humus de lombriz. Este tipo de abono tiene la capacidad de liberar nutrientes de manera gradual, mejorando la estructura del suelo y aumentar la resistencia a enfermedades, lo que lo hace ideal como fertilizante orgánico.

La albahaca se cultiva en un gran número de países por sus cualidades medicinales, aromáticas, ornamentales y melíferas. En los últimos años en México, se ha incrementado la producción y exportación de este cultivo, pero el excesivo uso de fertilizantes químicos plantea serias preocupaciones ambientales y de salud además de que algunas normas fitosanitarias prohíben el uso de estos fertilizantes, reportado por (Chiquito *et al.*, 2018).

La adopción de fertilizantes orgánicos representa una alternativa sostenible que no solo mejora la salud del suelo, sino que también contribuye a una agricultura más responsable, menos perjudicial para el medio ambiente y abriendo otros mercados (Romero 2015). Por otra parte, se ha reportado, que los abonos orgánicos conllevan una mejora en las propiedades físicas y químicas de los suelos, reflejándose en un incremento del crecimiento y desarrollo de los cultivos, sin embargo (Agüero *et al.*, 2016), existen pocos estudios que se centren en la aplicación de biofertilizantes como alternativas para aumentar la producción de esta hierba aromática. El objetivo del estudio realizado fue determinar el efecto de la lombricomposta y lixiviado

sobre el crecimiento y rendimiento en la producción de hojas de las plantas de albahaca (*Ocimum basilicum* 'Genovese') bajo dos sistemas campo abierto e invernadero.

1.1 Objetivo general

Determinar el efecto de los biofertilizantes en el crecimiento y de la acumulación de biomasa fresca de albahaca var. Genovese en dos ambientes de producción.

1.2 Objetivo específico

- Evaluar el efecto de la aplicación de lixiviado y lombricomposta sobre el crecimiento de la albahaca var. Genovese.
- Encontrar bajo qué sistema de producción (campo abierto e invernadero) aumenta la producción de albahaca var. Genovese.
- Obtener la mejor interacción entre ambiente y biofertilizantes que promueve mayor crecimiento y acumulación de biomasa fresca de albahaca var. Genovese.

1.3 Hipótesis

Al menos un biofertilizante, un sistema de producción ó una combinación de estos incrementan la biomasa fresca del cultivo de albahaca var. Genovese.

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen, clasificación botánica y generalidades del cultivo

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es una planta aromática originaria de la India que se produce en climas áridos y semiáridos de todo el mundo. Sus hojas contienen diversas propiedades químicas que permite usarlas en la industria farmacéutica, culinaria, cosmética, de perfumes, entre otros (Akankshya *et al.*, 2023). Existe una variedad de hoja pequeña, denominada albahaca simplemente y otra de hoja ancha, de mayor uso gastronómico, llamada más comúnmente basilico (Sam *et al.*, 2002). De la anterior, se conocen la variedad *genovese* y el híbrido *nufar*, de porte más vigoroso y de mayor productividad que la *genovese*, esta puede llegar a producir entre 60 y 70 t ha⁻¹ de hoja en fresco y se cultiva en los departamentos de Boyacá, Valle, Cundinamarca y Antioquia (Ramírez *et al.*, 2017).

Clasificación Botánica (Castro. 2005)

Reino: Plantae

División: Angiospermas

Clase: Dicotiledóneas

Orden: Lamiales

Familia: Lamiáceas

Género: *Ocimum*

Especie: *Ocimum basilicum*

Composición química

La principal esencia producida por la albahaca es el metil chavicol, conocida también como estragol, de fórmula química C₁₀H₁₂O. El linalol, tiene olor floral con un toque mentolado, lo que le provee de valor para su uso en productos aromáticos. El cineol por su parte, que posee un agradable aroma, es un componente de aceites esenciales como el del romero (Hussain *et al.*, 2008).

Flores

Las flores son blancas o ligeramente purpuras, dispuesta en espigas alargadas, axilares en la parte superior del tallo o en los extremos de la rama (Lee *et al.*, 2005).

Hojas

Las hojas son de color verde intenso, dispuestas en el tallo en forma opuesta, enteras, glabras, ovaladas, acuminadas, con bordes ligeramente dentados, peciolo de 1 a 2 cm de largo; lamina foliar de 2 a 7 cm y de 1 a 4 cm de ancho. Los valores pueden cambiar según la variedad (Paredes y Rojas. 2022).

Variedades relevantes de albahaca mencionadas por Castro (2005):

➤ **Albahaca Genovesa (*Ocimum basilicum* ‘Genovese’)**

Morfología: Planta compacta de unos 30–45 cm de altura, hojas grandes, verdes, lisas y ovaladas. Muy aromática.

Usos: Clásica en la cocina italiana, ideal para preparar pesto, ensaladas y acompañar tomates y mozzarella.

➤ **Albahaca Morada (*Ocimum basilicum* var. *purpurascens*)**

Morfología: Hojas de color púrpura intenso o rojizo, textura similar a la Genovesa, pero con tonalidades ornamentales.

Usos: Uso culinario en vinagretas, cócteles, ensaladas y como planta ornamental por su color llamativo. Tiene un sabor más picante/anís.

➤ **Albahaca Limón (*Ocimum basilicum* var. *citriodorum*)**

Morfología: Hojas más estrechas y pálidas, aroma cítrico. Planta de tamaño medio.

Usos: Muy usada en la cocina asiática (tailandesa e indonesia), en platillos de pescado, sopas, tés y postres.

➤ **Albahaca Thai (*Ocimum basilicum* var. *thyrsiflora*)**

Morfología: Hojas más finas y puntiagudas, con tallos púrpuras y flores lavanda. Tiene un aroma a anís/regaliz.

Usos: Fundamental en la cocina tailandesa, vietnamita y laosiana. Se utiliza en curris, sopas y salteado.

2.2 Producción mundial

A nivel global, los principales países productores son:

- India: Mayor productor mundial, con más de 300,000 toneladas al año y más de 100,000 ha cultivadas.
- Italia: Reconocida por su albahaca para pesto, produce más de 80,000 toneladas anuales en 20,000 ha.
- Estados Unidos: Produce más de 50,000 toneladas con énfasis en cultivos orgánicos. (INIA, 2025)

2.3 Producción nacional

En México, los principales estados productores de albahaca son Baja California Sur, Nayarit, Morelos y Baja California. Baja California Sur destaca como el mayor productor, con una superficie cultivada de 365.75 hectáreas y una producción de 2,403 toneladas. Le sigue Nayarit, con 52 hectáreas cultivadas y una producción de 1,047.24 toneladas. En tercer lugar, se encuentra Morelos, con 26 hectáreas y 188.79 toneladas, mientras que Baja California reporta una superficie menor de 5.62 hectáreas (SIAP, 2010).

2.4 Principales mercados

México exporta albahaca a diversos mercados internacionales, destacando por su calidad y producción orgánica. Estados Unidos, Canadá, Alemania, Francia, España e Italia: Estos países importan albahaca mexicana, especialmente para la industria gastronómica y de alimentos procesados (Osuna y Peña. 2024).

2.5 Características de calidad

La calidad de la hoja de albahaca cv. Genovese se evalúa principalmente por criterios visuales y organolépticos. Los más importantes mencionados por Ávila y Soto (2010) son:

1. Color

- Verde intenso, uniforme y brillante.
- La decoloración (amarillenta o marrón) indica deterioro o envejecimiento.

2. Tamaño y forma

- Hojas enteras, de tamaño mediano a grande, con forma ovalada y bordes ligeramente dentados.
- Variedades como la genovesa se prefieren por su forma ancha y suave textura.

3. Textura

- Suave, flexible y sin signos de marchitamiento.
- No debe estar quebradiza ni reseca.

4. Aroma

- Intenso, dulce y fresco, con notas características de anís, clavo o menta (según la variedad).
- La pérdida de aroma indica reducción de compuestos volátiles esenciales.

5. Ausencia de defectos

- Sin manchas, agujeros, plagas, moho o daño mecánico.
- Hojas limpias, sin tierra ni residuos.

6. Pureza varietal

- Uniformidad en el tipo de hoja y ausencia de otras especies o variedades mezcladas.

7. Estado sanitario

- Libre de pesticidas, metales pesados y patógenos (especialmente para exportación y consumo fresco).

2.6 Requisitos climáticos

La albahaca crece mejor a temperaturas entre 20°C y 30°C y no tolera heladas. Necesita al menos 6 horas de luz solar directa al día (Paredes y Rojas. 2022).

2.7 Requerimientos del suelo

El cultivo de la albahaca prefiere suelos bien drenados, ligeros y con un pH de 6 a 7. Es esencial que el suelo esté aireado y rico en materia orgánica, por lo que se recomienda agregar compost esto para mejorar la estructura del suelo, su capacidad de retención de agua y nutrientes, y promueve un ambiente favorable para microorganismos benéficos (Kumar y Singh, 2019).

2.8 Requerimientos hídricos

Requiere riego regular para mantener el suelo ligeramente húmedo, es fundamental evitar el encharcamiento, ya que el exceso de agua puede provocar la pudrición de las raíces, disminución la oxigenación radicular y favorecer la proliferación de patógenos fúngicos como *Pythium* y *Phytophthora* (Ramírez *et al.*, 2017).

2.9 Crecimiento y cuidado

Es una planta de crecimiento rápido que necesita poda para fomentar un desarrollo arbustivo y evitar la floración temprana ya que puede inducir la producción de compuestos amargos, afectando negativamente su sabor y aroma. La eliminación de las flores redirige la energía de la planta hacia el crecimiento vegetativo, prolongando el período de cosecha y mejorando las características organolépticas de las hojas (Ntatsi *et al.*, 2019).

2.10 Plagas

2.10.1 Pulgones (*Aphidoidea*): Chupan la savia de las hojas, causando deformación, amarillamiento y enrollamiento. Además, transmiten virus y favorecen la aparición de negrilla por la melaza que segregan.

Manejo:

- Eliminar manualmente las colonias y mantener las plantas sanas con buen abonado.
- Introducción de insectos depredadores como crisopas.
- Aplicación de insecticidas naturales como aceite de neem o jabón potásico.

2.10.2 Trips (*Frankliniella Occidentalis*): Se alimentan de las células foliares, dejando manchas plateadas y secas en las hojas. Se esconden en el envés, brotes y flores.

Manejo:

- Rociar plantas con agua para aumentar humedad, lo que los repele; retirar hojas afectadas.
- Uso de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* y depredadores naturales (crisópidos, Oryus).
- Aplicación de aceite de neem o jabón potásico.

2.10.3 Minador de hoja (larvas de dípteros): Las larvas excavan galerías en las hojas, formando túneles visibles y puntos negros.

Manejo:

- Eliminación manual y destrucción de hojas afectadas antes de que las larvas eclosionen.
- En casos severos, aplicación de insecticidas específicos bajo recomendación técnica.

2.11 Enfermedades

2.11.1 Oidio (*Erysiphales*): Se presenta como un polvo blanco en hojas y tallos, que puede reducir la fotosíntesis y vigor de la planta.

Manejo:

- Mantener buena aireación, evitar riegos por aspersión y eliminar partes afectadas.
- Aplicación de fungicidas a base de azufre o bicarbonato de potasio.

2.11.2 Mancha de hoja (*Cercospora Ocimicola*): Son manchas oscuras circulares o irregulares con centro claro en hojas.

Manejo:

- Evitar riego por aspersión, eliminar hojas enfermas y usar mantillo para reducir salpicaduras.
- Fungicidas con bicarbonato de potasio para infecciones leves.

2.11.3 Marchitez Vascular (*Fusarium Oxysporum*): Es un marchitamiento, amarillamiento de hojas, lesiones cafés en tallos.

Manejo:

- Evitar suelos mal drenados y plantas con deficiencias nutricionales.
- Uso de *Bacillus subtilis* como agente de control biológico.
- Fungicidas específicos para fusariosis en casos graves.

(AGEXPORT, 2021)

2.12 Cosecha

Las hojas se cosechan aproximadamente 6-8 semanas después de la siembra, preferiblemente cuando están frescas y jóvenes, antes de que la planta florezca ya que una vez que la planta comienza a florecer, las hojas tienden a volverse amargas y pierden parte de sus compuestos aromáticos

y aceites esenciales, lo que afecta negativamente su calidad para uso culinario. La recolección debe hacerse preferiblemente en las horas de la mañana, cuando la concentración de aceites esenciales es más alta, y utilizando técnicas que eviten dañar la planta para permitir múltiples cortes y prolongar el ciclo productivo (Mena y López, 2016).

2.13 Fertirriego

Se refiere a la práctica de suministrar nutrientes esenciales a las plantas junto con el agua de riego. Su principal objetivo es garantizar que las plantas dispongan del agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo (Martínez *et al.*, 2012). Un manejo adecuado del fertirriego requiere un conocimiento profundo de las características del agua utilizada, ya que esto permite proporcionar la cantidad necesaria para la absorción y transporte de nutrientes, evitando problemas de salinidad en la rizosfera y manteniendo un equilibrio nutricional que favorezca la floración y/o maduración de los frutos (Mazuela y De La Riva, 2013). En México, actualmente cerca del 80% de la superficie cultivada con hortalizas utiliza técnicas de riego por goteo y fertirriego. Estas técnicas son aplicables a una variedad de cultivos, incluyendo plantas aromáticas, frutales y hortalizas (Mazuela *et al.*, 2020).

2.13.1 Beneficios del fertirriego

1. Mayor eficiencia en el uso de nutrientes: El fertirriego permite que los nutrientes lleguen directamente a las raíces de las plantas, lo que reduce las pérdidas de fertilizantes y mejora la absorción, optimizando el uso de los recursos (Shirgure, 2013).
2. Reducción del riesgo de enfermedades: Al proporcionar nutrientes disueltos en el agua, el fertirriego evita la acumulación de fertilizantes en la superficie del suelo, lo que

puede atraer plagas y patógenos. Esto ayuda a mantener un ambiente más saludable para las plantas (Shirgure, 2013).

3. Control preciso de la nutrición: Los sistemas de fertirriego permiten ajustar con precisión las dosis de nutrientes según las necesidades específicas de cada cultivo, lo que mejora el rendimiento y la calidad de la cosecha (Olmos, 2023).
4. Ahorro de agua: Dado que el fertirriego utiliza el agua de riego para aplicar fertilizantes, permite un uso más eficiente del recurso hídrico, reduciendo el desperdicio de agua en comparación con métodos tradicionales de fertilización (Olmos, 2023).
5. Mejor aprovechamiento de los nutrientes: Esta técnica favorece la distribución uniforme de los fertilizantes en el suelo, lo que garantiza que todas las plantas reciban una cantidad adecuada de nutrientes, evitando deficiencias o excesos (Yara, 2021).

2.14 Lixiviado

El lixiviado de lombriz, también llamado como té de lombriz es el líquido que se genera durante el proceso del lombricompostaje. Este líquido se filtra a través de la cama de lombrices mientras procesan los residuos orgánicos. Es una fuente rica en nutrientes, microorganismos beneficiosos y compuestos biológicos que se producen durante la digestión y descomposición de la materia orgánica por las lombrices californianas y otros microorganismos presentes en su intestino (Domínguez y Gómez 2013).

Cuadro 1. Características químicas y físicas del lixiviado de lombriz.

Parámetro	Valor
Ph	6.5 – 7.5
Conductividad eléctrica	Alta (salinidad media a alta)
Materia orgánica	Baja a media
Nitrógeno total	0.1 – 0.5%
Fósforo (P)	0.05 – 0.3%
Potasio (K)	0.1 – 0.4%

(Moreno *et al.*, 2019)

2.14.1 Beneficios del lixiviado en hortalizas

1. Alto contenido nutricional: El lixiviado de lombriz es rico en minerales esenciales, incluyendo nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes como zinc y boro. Ayuda a corregir deficiencias nutricionales en las plantas y favorece su desarrollo general (SADER, 2022).
2. Mejora de la estructura del suelo: Aumenta la capacidad del suelo para retener agua y mejora su aireación. Esto se debe a que el humus líquido fomenta la formación de un complejo arcillo-húmico, lo que facilita la creación de agregados y mejora la porosidad del suelo (SADER, 2022).
3. Estimulación del crecimiento de raíces: Este biofertilizante favorece un mejor desarrollo radicular, favoreciendo la rizosfera, esto permite que las plantas absorban nutrientes de manera más eficaz a lo largo de su desarrollo (Gonzales y Rodríguez, 2018)
4. Incremento en la Resistencia a Plagas y Enfermedades: Gracias a su contenido de fitohormonas y microorganismos beneficiosos, el lixiviado refuerza las defensas naturales de las plantas, haciéndolas menos vulnerables a plagas y enfermedades (Gonzales y Rodríguez, 2018).

5. Beneficios Ambientales: Al ser un producto completamente natural, el lixiviado de lombriz no representa un riesgo para humanos ni animales y se descompone fácilmente, contribuyendo a la reducción de la contaminación y a la protección del medio ambiente (Gonzales y Rodríguez, 2021).

2.15 Lombricomposta

La lombricomposta es un proceso que utiliza lombrices para descomponer residuos orgánicos y convertirlos en un fertilizante natural conocido como vermicompost. Este método se lleva a cabo en condiciones aeróbicas, donde las lombrices ingieren materia orgánica y, a través de su digestión, producen un abono rico en nutrientes. Este tipo de compostaje no solo beneficia al suelo y las plantas, sino que también promueve un ecosistema más equilibrado al aumentar la biodiversidad microbiana (Aracon *et al.*, 2004). A continuación, se describe las principales características de la lombricomposta:

Componentes orgánicos:

- Materia orgánica entre 65-85%
- Ácidos húmicos (15-30%) y fúlvicos (5-10%)
- Relación carbono/nitrógeno (10:1)

Nutrientes minerales:

- Nitrógeno total: 2-4% (base seca)
- Fósforo: 1-2%, Potasio: 1,5-2%
- Microelementos como Fe, Ca, Mg, Cu y Zn

Características físicas:

- Densidad aparente baja (0.56-0.66 g/cm³ vs 1.10 g/cm³ en suelo)
- Porosidad total elevada (60-61% vs 49% en suelo arcilloso)
- pH neutro (6.5-8) y ausencia de metales pesados detectables

(Martinez y Herrera, 2018).

2.15.1 Beneficios de la lombricomposta en hortalizas

1. Liberación Progresiva de Nutrientes: A diferencia de los fertilizantes sintéticos, la lombricompost ofrece nutrientes de manera gradual. Esta liberación continua permite que las plantas los absorban a lo largo del tiempo, favoreciendo su crecimiento y desarrollo (Morales, 2019).
2. Mejora en la Estructura del Suelo: La aplicación de vermicomposta optimiza las características físicas del suelo, mejorando su aireación y capacidad de retención de agua. Esto es fundamental para el desarrollo saludable de las raíces y la absorción efectiva de nutrientes (Morales, 2019).
3. Estimulación del Crecimiento Vegetal: Los microorganismos presentes en el vermicompost fomentan el crecimiento de las plantas al aumentar la disponibilidad de nutrientes y generar sustancias con efectos hormonales que favorecen la germinación, floración y producción de frutos (Lim *et al.*, 2015).
4. Incremento en la Resistencia a Patógenos: El uso de vermicomposta ha demostrado fortalecer la resistencia de las plantas frente a diversas plagas y enfermedades. Esto se debe a que el humus contiene compuestos que funcionan como fungicidas y supresores de plagas, mejorando así la salud general del cultivo (Lim *et al.*, 2015).
5. Aumento en la Diversidad Microbiana: Al enriquecer el suelo con vermicomposta, se promueve la presencia de microorganismos beneficiosos que ayudan a mantener un ecosistema equilibrado. Esto no solo beneficia a las plantas, sino que también mejora la salud general del suelo (Lozcano y Domínguez, 2019).

2.16 Solución Steiner

La solución Steiner es una mezcla nutritiva creada para suministrar a las plantas todos los nutrientes esenciales necesarios para su desarrollo (Trejo y Gómez, 2012).

Desarrollada en 1961 por el Dr. Bernard Kratky Steiner, es utilizada principalmente en cultivos hidropónicos, aunque también es efectiva en suelos. Contiene macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, además de micronutrientes como hierro, manganeso, zinc y boro, que son requeridos en menores cantidades, esta solución permite a las plantas absorber nutrientes de manera más eficiente y se puede aplicar en diversas etapas de crecimiento (Gonzales *et al.*, 2019).

2.16.1 Beneficios de la Solución Steiner

En las Plantas

1. Mejora del Crecimiento: Proporciona un suministro equilibrado de nutrientes que promueve un crecimiento saludable y vigoroso de las plantas (Sánchez y Pérez 2023).
2. Aumento de la Producción: Se ha demostrado que mejora el tamaño y la maduración de los frutos, lo que resulta en mayores rendimientos agrícolas (Sánchez y Pérez 2023).
3. Estimulación de Fitohormonas: Favorece la producción de fitohormonas, que son cruciales para el desarrollo y la regulación del crecimiento vegetal (Trejo y Gómez 2012).

En el Suelo

4. Mejora de la Calidad del Suelo: La aplicación continua de la solución puede mejorar las propiedades del suelo, aumentando su capacidad para retener nutrientes y agua (Gonzales y Rodríguez 2022).
5. Control del pH: La solución permite un control más preciso del pH del suelo, lo que es esencial para la disponibilidad de nutrientes (Gonzales *et al.*, 2019).

6. Reducción de Riesgos de Precipitación: Su formulación minimiza el riesgo de precipitación de nutrientes, asegurando una mayor disponibilidad para las plantas (Benavides y Ramírez 2023).

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del experimento

El estudio se realizó en un invernadero de baja tecnología y en campo abierto, en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México, que se localiza en Buenavista, Saltillo, Coahuila, cuyas coordenadas geográficas son 25° 23' 42" N y 100° 59' 57" O, a una altitud de 1745 m. El cultivo se estableció en suelo, el agua y nutrientes fueron aportados mediante fertirriego.

El suelo es de tipo calcáreo, con textura franca, 2.95% de materia orgánica, punto de saturación de 44%, capacidad de campo de 23.4%, densidad aparente de 1.18 g cm⁻³, contenido de carbonatos de 50%, pH de 8.07, CE de 6.93 dS m⁻¹, saturación de bases de 78.9% (13.8 mEq 100 g⁻¹) Ca²⁺, 16.3% (2.85. mEq 100 g⁻¹) Mg²⁺, 3.20% (0.56 mEq 100 g⁻¹) K⁺ y 1.83% (0.32 mEq 100 g⁻¹) Na⁺.

3.2 Preparación del sitio experimental

Para esta actividad se hicieron cuatro camas tanto en campo abierto como en el invernadero con las siguientes medidas, largo 16 m y ancho 35 cm con un pasillo de 50 cm entre cama y cama, se realizaron con la ayuda de una pala y un azadón de la marca "Truper" realizando una labranza de la tierra a una altura de 30 cm.

Una vez realizado esto se colocó el sistema de riego, cintilla marca Toro Australia Pty con goteros a 30 cm teniendo un gasto de agua de 1.2 L/h.

3.3 Establecimiento del experimento (Trasplante y riego)

Se aplicó un riego a las camas realizadas con agua del departamento de horticultura por 24 horas para hacer el trasplante y una vez realizado esto a los 15 días después del trasplante (DDT), se llevó a cabo una poda de la parte aérea a 10 cm.

3.4 Manejo de las plantas y tratamientos

Se emplearon plantas de albahaca de la variedad 'Genovese' de la empresa "Productores de plántulas de Tetela del monte, S.C de P. de R.L de C.V. Antes de realizar el trasplante, las camas tratadas con lombricomposta y la combinación de lombricomposta + lixiviado se aplicó 1 kg/m. El trasplante se realizó el 1 de junio de 2024 con plantas de 45 días de edad, en camas de 15 m de largo y 0.90 m de separación, a doble hilera con distancia de 0.15 m entre plantas y 0.10 m entre hileras, bajo el sistema de plantación de zig-zag con una densidad de plantación de tres plantas por metro cuadrado. Las plantas se cultivaron en dos ambientes: invernadero y campo abierto, cada uno de ellos se aplicaron cada tratamiento indicado de albahaca:

1) Solución Steiner al 100% testigo, 2) se aplicó 1 kg/m lombricomposta (Lombri), 3) lixiviado (Lixi) a una concentración de 1:10 y 4) lombricomposta más lixiviado (Lombri+Lixi) se aplicó 1 kg/m de lombricomposta + 1:20 de lixiviado, empleando sistema de riego por goteo para su aplicación. El lixiviado fue adquirido dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

El agua utilizada para el riego se clasifica como agua dura y contiene 322.1 mg/L de CaCO_3 , pH 7.24, CE 0.81 dS m^{-1} , relación de adsorción de sodio (RAS) 0.77, 4.51 mEq L^{-1} Ca^{2+} , 1.93 mEq L^{-1} Mg^{2+} , 1.38 mEq L^{-1} Na^+ , 0.13 mEq L^{-1} K^+ , 5.49 mEq L^{-1} HCO_3^- , 1.57 mEq L^{-1} SO_4^{2-} , .98 mEq L^{-1} Cl^- y 0.46 mEq L^{-1} NO_3^- . La lombricomposta fue elaborada a partir de estiércol de bovino y contenía 38.73 % de MO, CIC 82.2 $\text{cmol}+\text{kg}^{-1}$ densidad aparente 0.51 g cm^{-3} , relación C:N 20:1, 1.48 % N, 0.87 % P, 1.25 % K, 0.52 % Na, 3.10 % Ca, 1.02 % Mg, 0.34 % Fe. El lixiviado de lombricomposta utilizado contenía. 0.37 % N, 1264.57 mg L^{-1} P, 2615 mg L^{-1} K, 1175 mg L^{-1} Na, 272.80 mg L^{-1} Ca, 163.45 mg L^{-1} Mg, 3.87 mg L^{-1} Fe, 2.07 mg L^{-1} Cu, 4.26 mg L^{-1} Zn, 12.70 mg L^{-1} Mn y 27.92 mg L^{-1} B.

3.5 Variables agronómicas

Biomasa fresca. La primera muestra se colectó a los 21 días después del trasplante (DDT). Con una báscula digital (Rhino BAPRE-3) se pesó de forma quincenal los brotes de 15 cm hasta los 120 días DDT. Biomasa seca. Las muestras colectadas fueron expuestas al sol por 3 días, después fueron llevadas a un horno de secado con una temperatura de 70 °C por 72 horas, después fueron retiradas y pesadas con la báscula digital (Rhino BAPRE-3). Altura, longitud y ancho de hoja. Mediante un vernier digital CD-8 (Mitutoyo Corp., Kanagawa, Japón) se midieron de forma quincenal, la altura de los brotes a cosechar, así como la longitud y ancho de las hojas cosechadas hasta los 120 días DDT. Numero de Brotes. Se realizaba el conteo quincenal.

3.6 Diseño experimental y tratamientos evaluados

Los tratamientos se distribuyeron bajo un diseño completamente al azar tanto en invernadero como en campo abierto, con un arreglo factorial de 2 x 4, teniendo un total de 8 tratamiento y 4 repeticiones. Las repeticiones consistieron en una parcela de 32 m². Los datos colectados se sometieron a un análisis de varianza bajo el diseño experimental indicado y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS 9.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ambientes afectaron significativamente las variables de crecimiento evaluadas en la albahaca. Similar efecto se observó con la aplicación de los biofertilizantes. La interacción entre el ambiente y los biofertilizantes mostraron efectos significativos ($p \leq 0.001$) en las variables antes señaladas, lo que implica que la mayor acumulación de la biomasa fresca de hoja depende de la combinación de ambos factores (Cuadro 1). En general, las plantas de albahaca producidas en invernadero, registraron mayor biomasa fresca de la hoja (BFH), biomasa seca de la hoja (BSH), altura de planta (AP), longitud de hoja (LH), ancho de hoja (AH) y número de brotes (NB) que aquellas desarrolladas en campo. La combinación de Lombri+Lixi incrementó mayor BFH, BSH, AP, LH, AH y NB (Cuadro 1).

Cuadro 2. Efecto del ambiente y los biofertilizantes en el crecimiento y acumulación de biomasa de hojas de albahaca cv. Genovese.

Ambientes	Biomasa fresca de hoja (g)	Biomasa seca de hoja (g)	Altura de planta (cm)	Longitud de hoja (cm)	Ancho de hoja (cm)	Número de brotes
Campo abierto	152.4 b	91.8 b	26.7 b	5.8 b	3.8 b	16.0 b
Invernadero	199.2 a	104.4 a	36.6 a	6.3 a	4.3 a	16.4 a
ANVA $P \leq$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Biofertilizantes						
Testigo (FQ)	182.6 b	105.4 b	35.7 b	6.2 b	4.1 b	17.1 b
Lixiviado (Lixi)	155.5 d	77.8 d	26.8 d	5.7 d	3.7 d	11.6 d
Lombricomposta (Lombri)	159.6 c	87.8 c	28.0 c	5.9 c	3.9 c	15.5 c
Lombri+Lixi	205.4 a	121.2 a	40.2 a	6.5 a	4.5 a	20.6 a
ANVA $P \leq$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
ANVA $P \leq$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
Interacción						

ANVA= análisis de varianza. Interacción= ambientes* biofertilizantes. Las letras a, b, c y d son las categorías obtenidas a partir de la comparación de medias con *Tukey* ($P \leq 0.05$).

La efectividad de los biofertilizantes, específicamente de lombricomposta y lixiviado de lombriz influye en la acumulación de biomasa fresca de la hoja. La mayor producción de biomasa fresca se observó en plantas desarrolladas con la combinación de ambos (Lombri+Lixi), tanto en campo abierto como en invernadero comparado con el tratamiento testigo (FQ). El incremento de la acumulación de biomasa fresca con la aplicación de los biofertilizantes puede ser debido que estos mejoran la fertilidad de suelo y, por lo tanto, el óptimo desarrollo de las plantas cultivadas. Maraña-Santacruz *et al.* (2018) reportaron que, la aplicación conjunta de lombricomposta y lixiviado mejora la absorción de nitrógeno y fósforo, elementos esenciales para la producción de biomasa en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annuum*). David-Santoya *et al.* (2018) señalan que, la lombricomposta, al ser rica en materia orgánica y microorganismos benéficos, mejora la estructura del suelo y estimula la actividad microbiana, lo que favorece el crecimiento radicular, la eficiencia en la absorción de agua y nutrientes para la germinación y crecimiento de chile habanero (*Capsicum annuum* var. *chinense jacquin*).

En cuanto al lixiviado de lombriz (Figura 1), su eficacia varió según el ambiente de crecimiento; en campo abierto, la biomasa fresca fue menor en comparación a lo registrado en invernadero, lo que sugiere que en condiciones de campo abierto puede haber una menor eficiencia en la absorción de nutrientes y una menor disponibilidad de agua por una mayor evapotranspiración. Tapia-Vargas *et al.* (2012) observaron que, en condiciones de campo abierto, la lixiviación de nutrientes está estrechamente relacionada con las precipitaciones intensas, que arrastran nutrientes solubles como el nitrógeno en forma de nitrato (NO_3^-) hacia las capas más profundas del suelo. En cambio, Jariwala *et al.* (2022) menciona que los invernaderos presentan una mayor eficiencia en el uso de nutrientes debido a que las pérdidas por lixiviación son menores, lo que favorece un rendimiento superior del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) y una mayor acumulación de biomasa fresca en el cultivo de pimiento (*Capsicum*

annuum). Asimismo, Yescas-Coronado *et al.* (2011) señalan que, en un invernadero con alta humedad relativa y temperatura moderada, la tasa de evaporación es más baja, lo que permite una mayor retención de agua en el sistema radicular y reduce la lixiviación de nutrientes. Estas condiciones favorecen la absorción eficiente de agua y nutrientes, lo que promueve el crecimiento de las plantas y mejora la producción de biomasa fresca en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y chile dulce (*Capsicum annuum*). Algunos factores mencionados por Sonneveld y Voogt (2009) como temperaturas elevadas y alta humedad relativa incrementan la evapotranspiración, facilitando la volatilización de ciertos elementos entre los más afectados es el nitrógeno, fósforo, potasio, por lo que, la volatilización reduce la disponibilidad de estos elementos en la planta, afectando procesos clave como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y la formación de estructuras celulares. Los resultados del presente estudio indican que, para reducir estos efectos, es importante implementar el uso de invernaderos donde hay condiciones modificadas y el uso de biofertilizantes de liberación controlada (uso de lombricomposta).

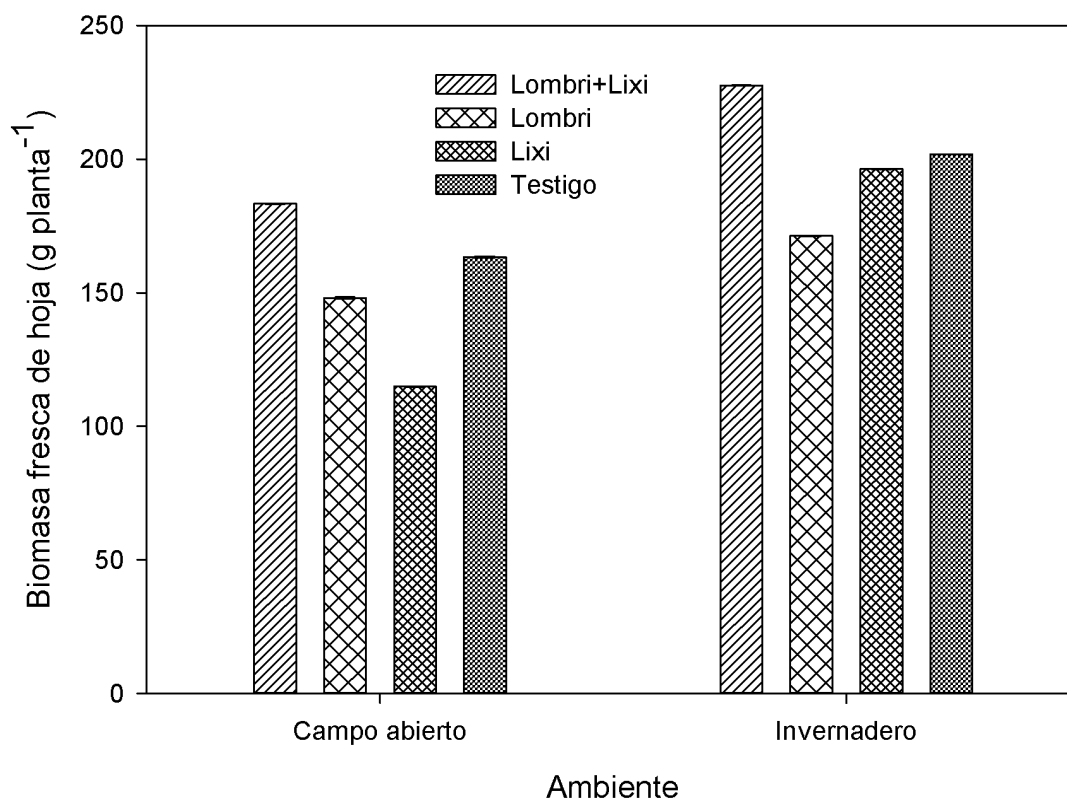


Figura 1. Efecto de la interacción entre biofertilizantes y ambientes en la acumulación de biomasa fresca de hoja de albahaca var. genovese.

Las plantas testigo, correspondiente a las que recibieron la solución Steiner, presentó una mayor biomasa seca en ambos ambientes en comparación con los tratamientos orgánicos individuales (Lombri y Lixi) (Figura 2). En cambio, la combinación Lombri+Lixi logró superarlo, lo que demuestra el potencial de los biofertilizantes para incrementar la biomasa seca foliar. Estos resultados indican que el uso de combinaciones orgánicas podría representar una alternativa sostenible a los fertilizantes químicos convencionales, especialmente en condiciones modificadas como las del invernadero. En el ambiente de campo abierto, las condiciones externas como temperatura y humedad pueden haber limitado la eficacia de los tratamientos menos completos (Lombri y Lixi), Caplan *et al.* (2019) menciona que pudo deberse a un estrés térmico (altas o bajas

temperaturas) y la disponibilidad de agua (relacionada con la humedad) pudiendo afectar la fotosíntesis, la transpiración y otros procesos fisiológicos, impactando directamente en la acumulación de biomasa. Como lo menciona Hatfield y Prueger (2015), el invernadero ofrece condiciones modificadas, donde la planta mantiene abiertos sus estomas, absorbe suficiente CO_2 y convierte la luz en energía, por lo que menciona Taiz *et al.* (2015) hay menos estrés oxidativo donde las temperaturas elevadas generan especies reactivas de oxígeno (ROS) dañando las membranas celulares y proteínas, hay menos estrés hídrico inducido por calor, por lo tanto, las plantas cierran estomas para reducir la pérdida de agua, limitando la fotosíntesis y la absorción de CO_2 , y por último menciona que la termolabilidad de enzimas afecta principalmente a la enzima rubisco, la síntesis de clorofila y la asimilación de algunas nutrientes en especial el nitrógeno. Por lo que para mejorar el crecimiento vegetal es ideal el uso de lombricomposta y lixiviado, también representa una estrategia agroecológica prometedora, especialmente en sistemas agrícolas que buscan reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

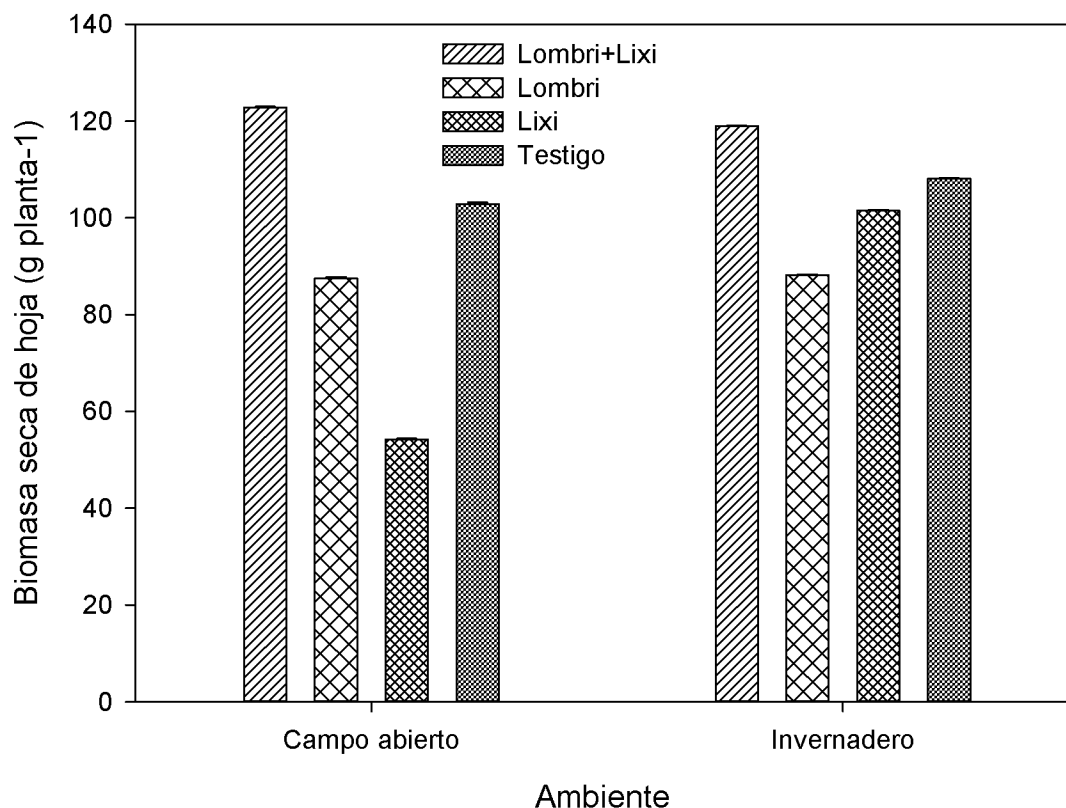


Figura 2. Efecto de la interacción entre biofertilizantes y ambientes en la acumulación de biomasa seca de hoja de albahaca var. genovese.

La mayor altura de planta (AP) se presentó con la aplicación de lombricomposta más lixiviado de lombriz, tanto en campo abierto como en invernadero, aunque las plantas desarrolladas bajo invernadero el incremento de la altura fue aún mayor (Figura 3). La aplicación de biofertilizantes por separado también promovió el crecimiento de la planta, pero en menor medida en comparación de la combinación de estos en ambos ambientes de crecimiento.

En condiciones de campo abierto, la altura de las plantas tratadas con lombricomposta + lixiviado fue significativamente mayor en comparación con los otros tratamientos. Esto puede atribuirse a la mejora en la estructura del suelo y la mayor disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno,

fósforo y potasio, como lo señalan Aguirre *et al.* (2020), quienes explican que, la combinación de lombricomposta más lixiviado de lombriz hace que la raíz libere exudados mejorando la estructura del suelo y promoviendo la disponibilidad de nutrientes esenciales. Según Rueda y Castillo (2018) la lombricomposta actúa como estimulante radicular, incrementando la liberación de exudados ricos en carbohidratos y compuestos orgánicos que facilitan la formación de agregados del suelo. Estos exudados también promueven la actividad microbiana, que mineraliza nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio en formas asimilables.

Por otra parte, el ambiente con las condiciones modificadas puede potenciar los efectos beneficiosos de estos biofertilizantes, proporcionando condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Además, la diversidad de microorganismos benéficos presentes en la lombricomposta estimula la liberación de exudados radiculares, estos organismos incluyen bacterias y hongos que interactúan con las raíces. Medina *et al.* (2019) dicen que las *Pseudomonas spp.* y *Bacillus spp.*, producen ácidos orgánicos (ej. ácido málico) que acidifican la rizosfera, solubilizando el fósforo inorgánico, mientras que, *Rhizobium* y *Azotobacter* fijan nitrógeno atmosférico, incrementando su disponibilidad en formas asimilables (amonio y nitrato), por otra parte, Domínguez *et al.* (2019) señalan a los hongos micorrízicos, *trichoderma spp* donde estos degradan la celulosa en la lombricomposta, liberando quitinasas que inducen respuestas de defensa en raíces y aumentan la secreción de exudados ricos en fenoles (ej. ácido cítrico) actúan como quelantes, movilizan hierro y zinc, (ej. ácido indolacético) que incrementa la densidad de pelos radiculares en un 30-40%, ampliando la superficie de exudación. Estos resultados refuerzan la idea de que el uso de biofertilizantes puede ser una alternativa viable a los fertilizantes químicos, por lo que coinciden con los resultados previos que han evaluado el efecto de los biofertilizantes.

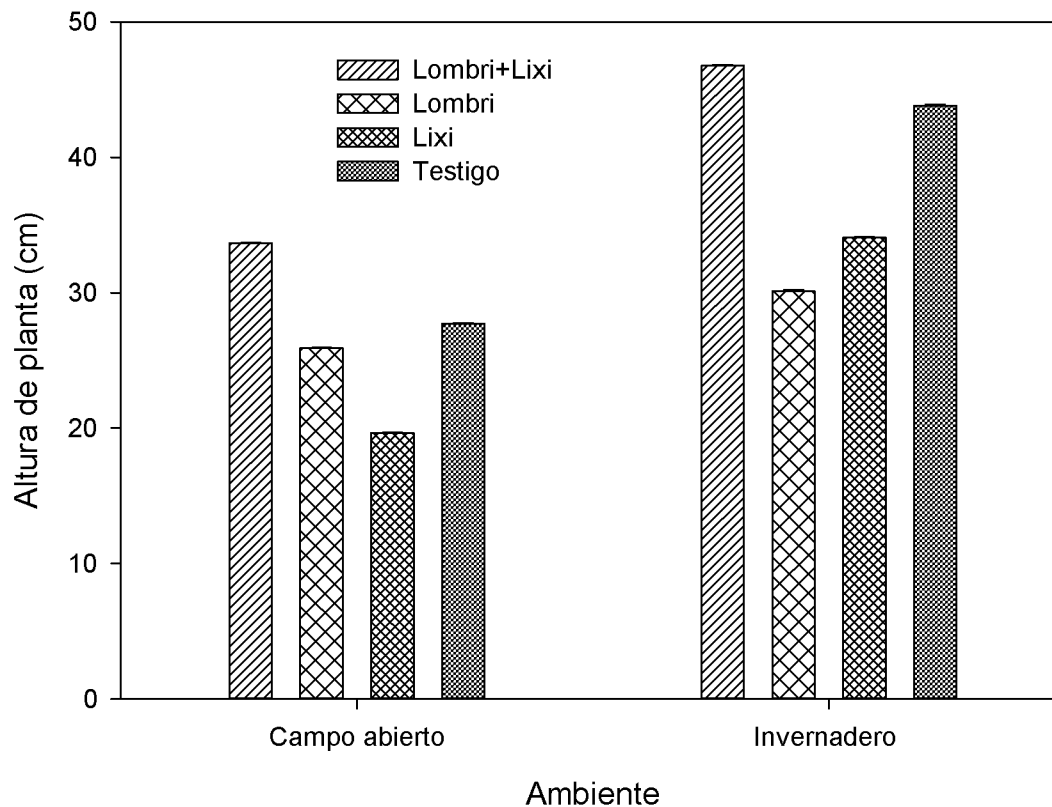


Figura 3. Efecto de la interacción entre biofertilizantes y ambientes en la altura de la planta de albahaca var. genovese.

La variable longitud de hoja (LH), es un indicador importante del desarrollo vegetativo y vigor de las plantas. Las plantas tratadas con la combinación de lombricomposta y lixiviado (Lombri+Lixi) resultó ser más efectivo para promover el crecimiento foliar tanto en campo abierto como en invernadero. Este efecto puede atribuirse a la absorción constante que ofrece la combinación de estos dos biofertilizantes debido a que la lombricomposta proporciona una liberación lenta de nutrientes que contienen estos productos, mientras que el lixiviado aporta nutrientes en formas más fácilmente disponibles para la planta. Norman *et al.* (2006) mencionan que, la liberación lenta y el contenido de nutrientes por parte de la lombricomposta se debe a que se encuentra compuesta de materia orgánica en diversas etapas de descomposición microbiana que ocurren en el suelo.

Ruiz-Morales (2011) señala que, los nutrientes están presentes, pero no son directamente asimilables por las plantas, para que estos nutrientes estén disponibles, los microorganismos del suelo deben descomponer la materia orgánica a través de un proceso llamado mineralización. Este proceso es lento y gradual, lo que resulta en una liberación constante de nutrientes. Narváez (2008) indica que, los ácidos húmicos y fúlvicos que contiene la lombricomposta, influye significativamente en su actividad y estabilidad, donde la ureasa puede mantener su actividad enzimática durante períodos más prolongados, facilitando la conversión de urea en amonio y, por ende, mejorando la disponibilidad del nitrógeno. De manera similar, la fosfatasa rompe esos enlaces, liberando fósforo inorgánico disponible, prolongando el abastecimiento del fósforo hacia la planta. Esto coincide con los resultados obtenidos en este experimento, donde la lombricomposta presentó un incremento en la longitud de las hojas, aunque fue mayor cuando se combinó con lixiviado, ya que este aporta nutrientes en formas más fácilmente disponibles para la planta.

Lazcano *et al.* (2008) señalan que, el lixiviado ya contiene nitrógeno en forma de amonio y nitrato (NH_4^+ , NO_3^-), fósforo (H_2PO_4^-) y potasio (K^+) en formas solubles, ya que, durante el lombricompostaje, bacterias como *nitrosomonas* y *nitrobacter* oxidan el amonio (NH_4^+) a nitrito (NO_2^-) y luego a nitrato (NO_3^-), mientras que hongos y actinomicetos hidrolizan compuestos fosforados orgánicos a ortofosfatos (H_2PO_4^-). El potasio (K^+) se libera directamente de la materia vegetal al no formar enlaces orgánicos estables. Esto significa que las plantas pueden absorber estos elementos de manera inmediata a través de sus raíces sin necesidad de la mineralización, además de que es un líquido, por lo tanto, se mueve con facilidad en el suelo o sustrato, alcanzando un mayor volumen radicular.

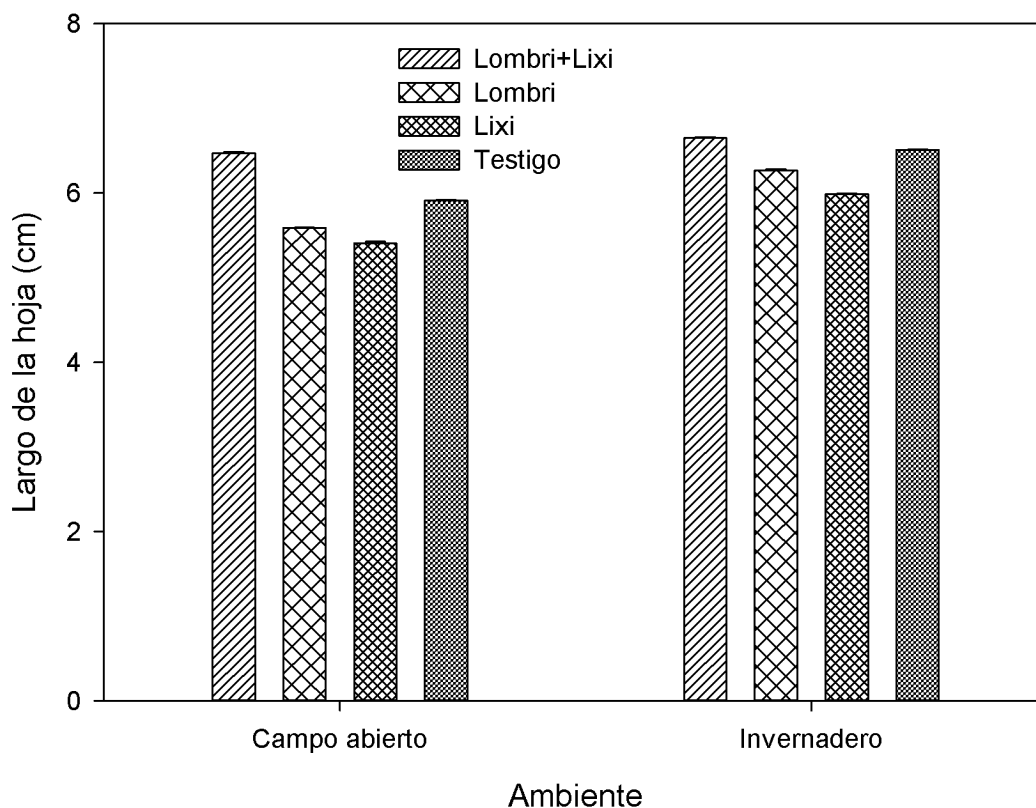


Figura 4. Efecto de la interacción entre biofertilizantes y ambientes en la longitud de hoja de albahaca var. genovese.

Las plantas testigo (FQ) presentaron un comportamiento diferente respecto a las plantas tratadas con los biofertilizantes en términos del ancho de hoja. En condiciones de campo abierto, el testigo superó al tratamiento (Lixi), pero fue superado tanto por (Lombri) como por la combinación de lombricomposta + lixiviado (Lombri + Lixi), siendo este último el más efectivo, mientras que, en invernadero, el tratamiento testigo mantuvo un aumento en el ancho de hoja comparado con Lixi, pero apenas por debajo de Lombri + Lixi. A pesar de que la solución Steiner es un fertilizante químico balanceado y de rápida absorción, en varios casos fue superado por los tratamientos orgánicos, particularmente la lombricomposta y su combinación con lixiviado. Esta diferencia puede atribuirse a que la lombricomposta, señalada por Morales *et al.* (2019) mejora la estructura física y biológica del suelo, incrementando la retención de agua, la aireación

y fomentando la actividad microbiana donde estos microorganismos contribuyen a una mejor absorción de nutrientes y fortaleciendo el sistema radicular de las plantas, aspectos que el fertilizante químico no proporciona. Gómez (2016) señala que, los nutrientes solubles de la solución Steiner pueden llegar a perder por lixiviación esto debido a los ambientes menos controlados como el campo abierto, donde los biofertilizantes tienden a adaptarse mejor a las condiciones del suelo, mostrando una ventaja sobre la fertilización química. Preciado *et al.* (2014) menciona que, la pérdida por lixiviación es mayor con fertilizantes químicos que con lombricomposta, debido a que esta incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, reteniendo nutrientes como amonio (NH_4^+), potasio (K^+) y calcio (Ca^{2+}) mediante cargas negativas en sus partículas orgánicas. Ferrari (2018) indican que, los fertilizantes químicos (ej. urea) aportan nutrientes en formas altamente solubles (NO_3^-), que no se adsorben al complejo arcillo-húmico y son arrastrados por el agua.

Los nutrientes en la lombricomposta están ligados a moléculas orgánicas (ácidos húmicos, enzimas) que se mineralizan gradualmente por acción la microbiana. En contraste, los fertilizantes químicos como el DAP o urea se disuelven inmediatamente lo que permite una rápida absorción, pero también una rápida pérdida si no se absorben de inmediato por parte de la planta. Los fertilizantes químicos, son efectivos a corto plazo, pero más propensos a pérdidas por lixiviación. En cambio, fertilizantes orgánicos como la lombricomposta o el lixiviado de lombriz ofrecen una alternativa más eficiente y sustentable, al minimizar pérdidas y mejorar la materia orgánica del suelo. Gutiérrez *et al.* (2008) demostraron que la aplicación conjunta de lombricomposta y lixiviado incrementa significativamente el crecimiento vegetal del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* L. Mill.), debido a la mejora simultánea de las propiedades químicas del suelo, la disponibilidad y absorción de macro y micronutrientes. Por lo que en los resultados obtenidos en este estudio sugieren que el uso de lombricomposta, sola o combinada con lixiviado, representa una alternativa

viable y en algunos casos superior a la solución Steiner, especialmente cuando se busca un manejo más integral y ecológico del suelo y a la producción de follaje.

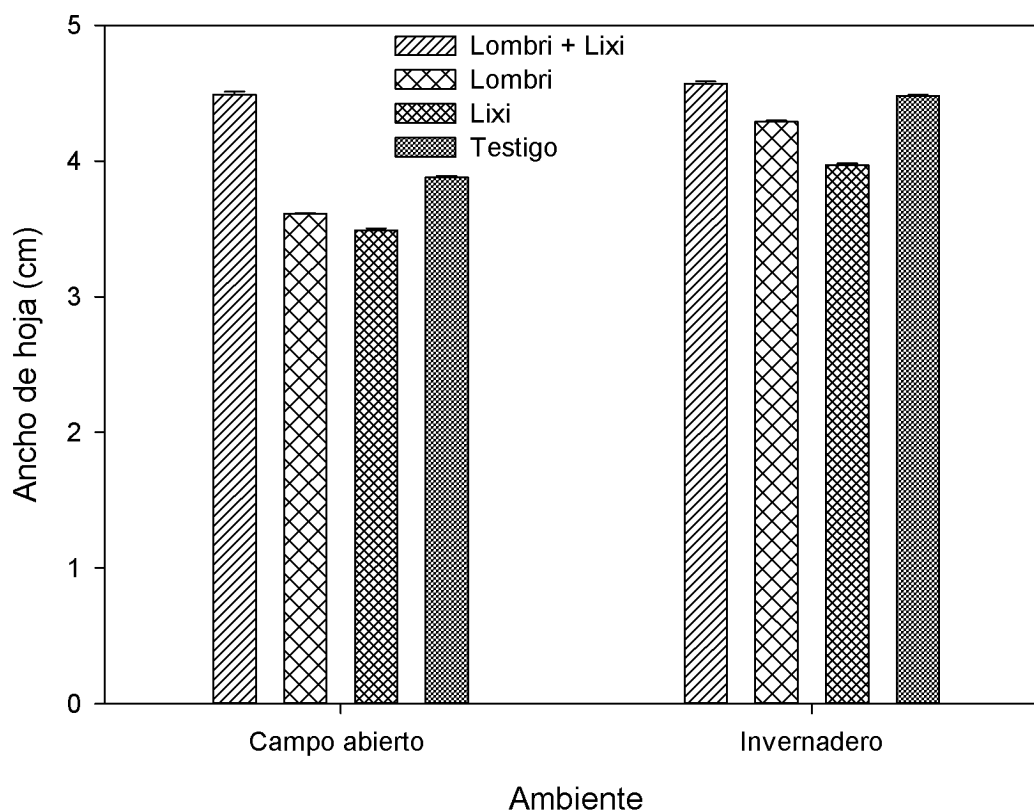


Figura 5. Efecto de la interacción entre biofertilizantes y ambientes en el ancho de hoja de albahaca var. genovese.

El número de brotes fue mayor en las plantas tratadas con biofertilizantes, en especial la combinación Lombri + Lixi, en ambos ambientes (campo abierto e invernadero). Esta variable mostró un aumento en el número de brotes, se puede atribuir al efecto de los biofertilizantes sobre el sistema radicular, donde Hernández *et al.*, (2010) menciona que, la lombricomposta y el lixiviado de composta estimulan la emisión de exudados radicales, los cuales activan la actividad microbiana del suelo y favorecen la liberación de nutrientes, así como la producción de enzimas y fitohormonas, como las auxinas, que promueven el desarrollo vegetal, incluyendo la formación de

nuevos brotes. Este comportamiento puede explicarse por los procesos fisiológicos y bioquímicos derivados de la actividad de lombrices utilizadas en la producción de lombricomposta. Durante la transformación de la materia orgánica, estas lombrices liberan enzimas extracelulares como celulasas, proteasas, amilasas y fosfatasas, que mineralizan nutrientes y mejoran su disponibilidad para las plantas (Domínguez y Edwards, 2004; Aira *et al.*, 2007). Estas condiciones también estimulan el crecimiento de microorganismos benéficos del suelo, de la cual la proliferación resulta en la síntesis de fitohormonas como auxinas, citoquininas y giberelinas (Arancon *et al.*, 2004). Desde el punto de vista fisiológico, estas hormonas desempeñan funciones clave en la emisión de brotes. Las citoquininas inducen la división celular y el desarrollo de yemas axilares, mientras que las auxinas pueden disminuir la dominancia apical, lo que favorece la brotación lateral (Taiz *et al.*, 2017). Las giberelinas, por su parte, estimulan la elongación celular y la activación de yemas dormantes, promoviendo así un desarrollo vegetativo vigoroso (Alam *et al.*, 2007). En conjunto, estos procesos explican el por qué las plantas tratadas con biofertilizantes basados en lombricomposta y el lixiviado incrementaron significativamente el número de brotes, superando incluso al tratamiento convencional con solución Steiner, especialmente en campo abierto.

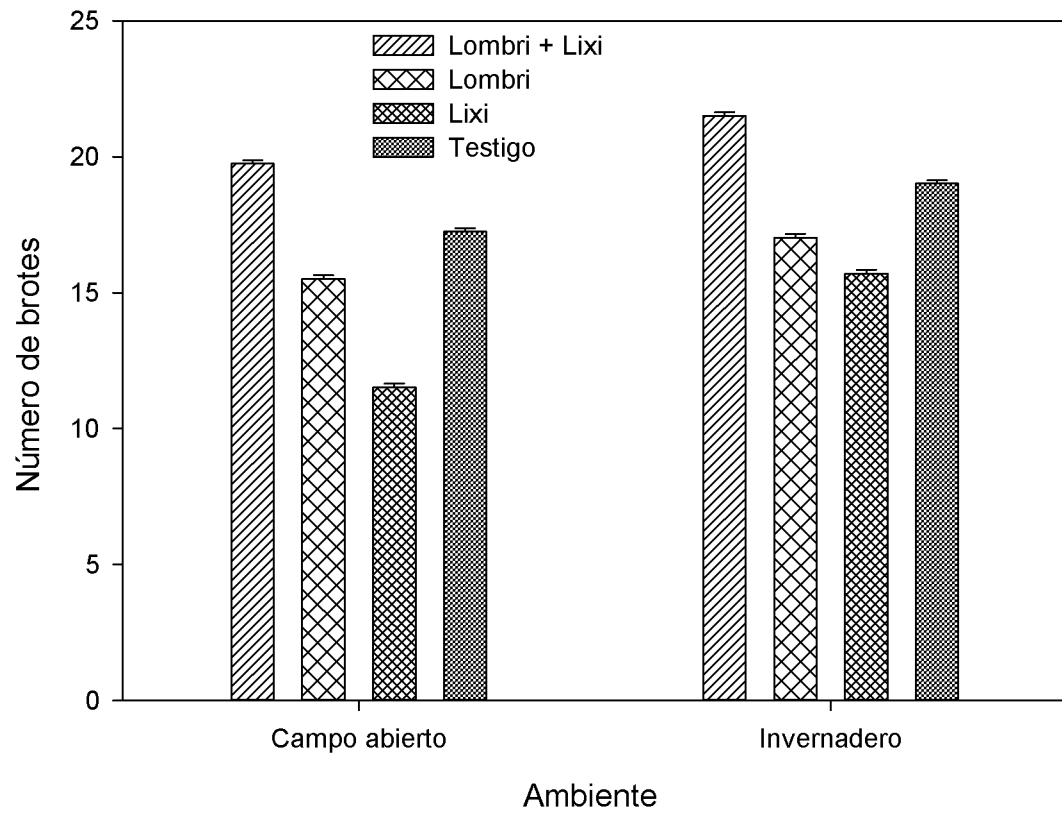


Figura 6. Efecto de la interacción entre biofertilizantes y ambientes en el número de brotes de las plantas de albahaca var. genovese.

CONCLUSIONES

La aplicación combinada entre lombricomposta y lixiviado es posible promover mayor crecimiento y acumulación de biomasa fresca y seca de las hojas de albahaca, aunque este aumento puede ser mayor bajo invernadero.

Las plantas de albahaca desarrollada en invernadero presentan mayor crecimiento y acumulación de biomasa fresca. La combinación de lombricomposta más lixiviado de lombriz aumentó el rendimiento de biomasa fresca.

REFERENCIAS

- Agüero-Fernández, R., Pérez, M., Ojeda-Silvera, C. M., & Gutiérrez-Miceli, F. A. (2016). Promoción del crecimiento de plantas de albahaca utilizando hongos micorrízicos arbusculares y *Stenotrophomonas rhizophila*. *Acta Universitaria*, 28(6), 61-68.
- Aguirre, S. L., García-Hernández, S. A., Marín-Sánchez, J., Romero-Méndez, M., & Hernández-Pérez, C. (2020). Respuesta productiva y de calidad de seis variedades de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) a la fertilización orgánica en Guadalupe, SLP. *Revista Bio Ciencias*, 7, 12-pág.
- Aira, M., Gómez-Brandón, M., Lazcano, C., & Domínguez, J. (2023). El vermicompostaje una alternativa para potenciar la agricultura urbana. *Revista de Investigaciones e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(1), 90-104.
- Aira, M., Monroy, F., Domínguez, J., & Mato, S. (2007). How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure. *European Journal of Soil Biology*, 43(S1), S8–S11.
- Akankshya, S., Nayak, G., Bhuyan, S. K., Bhuyan, R., Kar, D., & Kuanar, A. (2023). A comprehensive review on nutritive value, phytochemicals, and pharmacological activities of *Ocimum basilicum* var. *thyrsoiflora*. *Journal of Herbmед Pharmacology*, 12(1), 1-12
- Alam, M. Z., Khan, M. M., & Roychoudhury, N. (2007). Effect of gibberellic acid and kinetin on growth and yield attributes of mungbean. *International Journal of Sustainable Crop Production*, 2(1), 17–20.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Lee, S., & Byrne, R. (2004). Effects of humic acids from vermicomposts on plant growth. *European Journal of Soil Biology*, 42, S65–S69.
- Asociación Guatemalteca de Exportadores. AGEXPORT Guatemala. (2021). *Guía de cultivo de albahaca (Ocimum basilicum)*. Recuperado de <https://www.export.com.gt/documentos/guia-de-cultivos/guia-de-cultivo-de-albahaca.pdf>

- Ávila Sánchez, M. I., & Rodríguez Soto, R. (2010). *Plantas aromáticas y medicinales: producción, poscosecha y comercialización*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Benavides-Mendoza, A., & Ramírez, H. (2023). Influencia de cuatro concentraciones de solución Steiner sobre los nutrientes en la solución del suelo y productividad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Terra Latinoamericana*, 41(1), 25–35.
- Caplan, J. S., Yeakley, J. A., & Brody, A. K. (2019). Thermal stress and water availability effects on plant physiological processes and biomass accumulation. *Plant Ecology*, 220(3), 345–356.
- Castro, R. 2005. Algunas notas sobre el cultivo de albahaca en un sistema hidropónico bajo invernadero, California USA. En: Hierbas Aromáticas culinarias para exportación en fresco. Curso de extensión. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Proyecto Hierbas Aromáticas. 15p.
- Chiquito-Contreras, R. G., Solís-Palacios, R., Reyes-Pérez, J. J., Murillo-Amador, B., Alejandre-Rosas, J., & Hernández-Montiel, L. G. (2018). Promoción del crecimiento de plantas de albahaca utilizando hongos micorrízicos arbusculares y una bacteria marina. *Acta universitaria*, 28(6), 68-76.
- David-Santoya, J. J. E., Gómez-Álvarez, R., Jarquín-Sánchez, A., & Villanueva-López, G. (2018). Caracterización de vermicompostas y su efecto en la germinación y crecimiento de *Capsicum chinense* Jacquin. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 5(14), 181-190.
- Domínguez, J., & Edwards, C. A. (2004). Vermicomposting organic wastes: A review. In *Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st Century* (pp. 369–395).
- Domínguez, J., y Gómez-Brandón, M. (2013). The influence of earthworms on nutrient dynamics during the process of vermicomposting. *Waste Management & Research*, 31 (8), 859–868.
- Farías, C., Cisternas, C., Morales, G., Muñoz, L., & Valenzuela, R. (2022).

- Albahaca: Composición química y sus beneficios en salud. *Revista chilena de nutrición*, 49(4), 502-512.
- Ferrari Noll, L. A. (2018). *Lixiviación de fosfatos y nitratos a partir de fertilizantes inorgánicos y orgánicos bajo lluvia simulada*. [Tesis de licenciatura]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Figuroa, J., & González, M. (2018). Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en *Capsicum annuum* L. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 52(1).
- Gómez-Patiño, K. (2016). *Evaluación de dosis de lixiviado de lombriz en dalias* [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gonzales, A., & Rodríguez, H. (2018). *Efecto del lixiviado como biofertilizante en el desarrollo radicular de hortalizas*. *Revista de Agricultura Sustentable*, 12(3), 45–52.
- Gonzales, A., & Rodríguez, H. (2021). *Efecto del lixiviado como biofertilizante en el desarrollo radicular de hortalizas*. *Revista de Agricultura Sustentable*, 13(2), 51–54.
- González, J. A., & Rodríguez, M. (2022). Efectos de la concentración de solución nutritiva Steiner y sustrato en la germinación y vigor de semillas de maíz. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 16(3), 200–210.
- González, M., Urbina, V., & Alcántar, G. (2019). Efecto de la solución Steiner y bioestimulantes en el crecimiento y rendimiento de chile jalapeño. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15 (5), e3255.
- Gutiérrez-Miceli, F. A., Santiago-Borraz, J., Montes Molina, J. A., Nafate, C. C., Abud-Archila, M., Oliva Llaven, M. A., ... & Dendooven, L. (2008). "Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*)."
Bioresource Technology, 99(6), 811-816.
- Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on

- plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 410.
- Hernández, T., García, C., & Reinhardt, I. (2010). Efecto de la aplicación de compost y vermicompost en la fertilidad del suelo y en el crecimiento de plantas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(1), 27–34.
- Hussain, A. I., Anwar, F., Sherazi, S. T. H., & Przybylski, R. (2008). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of basil (*Ocimum basilicum*) essential oils depends on seasonal variations. *Food Chemistry*, 108(3), 986–995.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. INIA. (2025). *Fichas de cultivo de especies aromáticas*. <https://ainfo.inia.uy/consulta/>
- Jariwala, K. B. (2022). *Plant Physiology*. Campus Books International. ISBN: 9789388822055.
- Juárez-Rosete, C. R., Aguilar-Castillo, J. A., Juárez-Rosete, M. E., Bugarín-Montoya, R., Juárez-López, P., & Cruz-Crespo, E. (2013). Hierbas aromáticas y medicinales en México: Tradición e innovación. *Revista Bio Ciencias*, 2(3), 119-129.
- Kumar, P., & Singh, R. (2019). Effect of organic amendments on soil properties and growth of medicinal plants. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 7(3), 12-18.
- Lazcano C, Gómez-Brandón & Domínguez J. (2008) Comparación de la efectividad del compostaje y lombricompostaje para la estabilización biológica del estiércol de ganado vacuno, Quimosfera, Volumen 72, Número 7, 2008, Páginas 1013-1019, ISSN 0045-6535,
- Lazcano, C., & Domínguez, J. (2019). Vermicompost significantly affects plant growth: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(6), 1–13.
- Lee, S. J., Umamo, K., Shibamoto, T., & Lee, K. G. (2005). Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food*

Chemistry, 91(1), 131–137.

- Lim, S. L., Wu, T. Y., & Lim, P. N. (2015). The use of vermicompost in organic farming: Overview, effects on soil and plant growth. *Applied and Environmental Soil Science*, 2015, 1–14.
- Maraña Santacruz, J. Á., Castellanos Pérez, E., Vázquez Vázquez, C., Martínez Ríos, J. J., Trejo Escareño, H. I., Gallegos Robles, M. Á., & Orona Castillo, I. (2018). Rendimiento de chile jalapeño con lixiviado de lombriz con dos métodos de riego. *Terra Latinoamericana*, 36(4), 345-354.
- Martínez Gamiño, M. Á., Jasso-Chaverría, C., & Huerta-Díaz, J. (2012). Efecto de dosis de fertilización con fertirriego y labranza de conservación en el rendimiento de frijol y propiedades del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (8), 1529-1544.
- 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.
- Martínez-Scott, M. M., & Ruiz-Hernández, J. (2018). Efecto de la aplicación de lixiviados de lombriz y ácidos húmicos en la producción de pimiento morrón (*Capsicum annum* var. *annuum*). *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 5(15), 19-24.
- Mazuela Águila, PC, & De La Riva Morales, F. (2013). *Manual de fertirriego. Incluye ejercicios para la nutrición de hortalizas en el valle de Azapa*. Ediciones Universidad de Tarapacá. Registro Propiedad Intelectual N° 230.919. ISBN: 978-956-7021-36-9.
- Mazuela Águila, PC, De la Rivera Morales, F., & Trevizan Rispoli, JF (2020). Principios de fertirriego. Incluye ejercicios para la disolución nutritiva de hortalizas (2ª ed.). Ediciones Universidad de Tarapacá. ISBN: 978-956-6028-18-5.
- Medina-Sauza, R. M., Álvarez-Jiménez, M., Delhal, A., Reverchon, F., Blouin, M., Guerrero-Analco, J. A., & Barois, I. (2019). Earthworms building up soil microbiota, a review. *Frontiers in Environmental*

- Science*, 7, 81.
- Mena, F., & López, M. (2016). Efecto de niveles de fertilización foliar en la productividad de dos variedades de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). (Tesis de Grado). Repositorio UMSA.
- Morales Munguía (2019). Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, *10*(1), 45-58.
- Moreno-Velázquez, D., Cano-Encarnación, R., Ibáñez-Martínez, A., Tobar-Reyes, J. R., Torres-Fernández, C. D., & Morales-Fernández, S. D. (2019). Liliium híbrida asiática cultivada en sustratos orgánicos y fertilizada con lixiviado de lombricomposta. *MEMORIA*, 3(10), 29-42.
- Narváez, L. (2008). *Actividad enzimática en suelos: Indicadores de calidad*. Universidad Nacional de Colombia.
- Norman Q. Arancon, Clive A. Edwards, Stephen Lee, Robert Byrne, Efectos de los ácidos húmicos del vermicompost en el crecimiento de las plantas. *Revista Europea de Biología del Suelo*, Volumen 42, Suplemento 1, 2006, Páginas S65-S69, ISSN 1164-5563.
- Ntatsi, G., Savvas, D., & Olympios, C. (2019). Pruning and pinching effects on yield and quality of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 246, 494-501.
- Ojeda-Silvera, C. M., Núñez-Ramírez, R., Gutiérrez-Miceli, F. A., Arvizu-Medrano, S. M., & Ávila-Quezada, G. D. (2015). Promoción del crecimiento de plantas de albahaca utilizando hongos micorrízicos arbusculares y *Stenotrophomonas rhizophila*. *Acta Universitaria*, 28(6), 61-68.
- Olmos, L. (2023). Fertiriego: aplicar agua y fertilizantes de forma simultánea. *Tecnología Hortícola*.
- Osuna Flores, I., & Peña Llanes, E. E. (2024). *Albahaca y experiencias de cultivo en México: Cultivo y producción de albahaca en México*.
- Paredes, M., & Rojas, J. (2022). Albahaca: Composición química y sus beneficios en salud. *Revista Chilena de Nutrición*, 49(5), 950-961.

- Preciado Rangel, P., García Hernández, J. L., Segura Castruita, M. Á., Salas Pérez, L., Ayala Garay, A. V., Esparza Rivera, J. R., & Troyo Diéguez, E. (2014). Efecto del lixiviado de vermicomposta en la producción hidropónica de maíz forrajero. *Terra Latinoamericana*, 32(4), 333-338.
- Ramírez-Godina, F., Rodríguez-Pérez, J. A., Robledo-Torres, V., & Salazar-Sosa, E. (2017). Sustratos orgánicos en la producción de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) bajo condiciones de malla sombra. *Ciencias Agrícolas*, 24(3), 1-14.
- Rodríguez, A., J. L. Rodríguez-Lara, F. Cervantes-Ortiz, L. A. Cervantes, R. C. G. Mendoza, B. I. Torres-Pacheco y B. Moustapha. (2021). "Effects of Vermicompost Leachate versus Inorganic Fertilizer on Morphology and Microbial Traits in the Early Development Growth Stage in Mint (*Mentha spicata* L.) and Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) Plants". *Horticulturae* 7(5):100
- Romero Nájera, N. (2015). *Plan de negocios de exportación de albahaca como producto orgánico*. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California Sur. Repositorio Institucional UABCS.
- Rueda, A., & Castillo, E. (2018). *Lombricomposta: Efectos en propiedades edáficas y productividad agrícola*. Repositorio UAM-Xochimilco.
- Ruiz-Morales, A. (2011). *Elaboración de lombricomposta a partir de residuos sólidos orgánicos*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Sam, O., Luz, M. de la, & Barroso, L. (2002). Caracterización anatómica de las hojas de la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 23(2), 39-42.
- Sánchez, J. A., & Pérez, M. L. (2023). Influencia de cuatro concentraciones de solución Steiner sobre los nutrientes en la solución del suelo y el rendimiento de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 29(1), 109–121.
- Sánchez-Verdugo, C., & Lucero-Flores, J. M. (2012). *Nichos de mercado de*

- especies aromáticas orgánicas tipo gourmet*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, Baja California Sur, México.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). *Manuales prácticos para la elaboración de lixiviado de lombriz*. Gobierno de México.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. (2010). *Estudio de nichos de mercado de hierbas aromáticas en Estados Unidos*.
- Shirgure, P. S. (2013). Fertilizing and irrigating crops through fertigation increases water- and N-use efficiency. HS1442/HS1442: The Advantages and Disadvantages of Fertigation. University of Florida IFAS Extension.
- Taiz, L., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Taiz, L., Møller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Plant Physiology and Development* (7th ed.). Sinauer Associates.
- Tapia Vargas, L. M., Larios Guzmán, A., Anguiano Contreras, J., Vidales Fernández, I., & Barradas, V. L. (2012). Lixiviación de nitratos y condición nutrimental en dos sistemas de manejo de riego y nutricional de aguacate (*Persea americana* Mill.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(3), 1–12.
- Trejo-Téllez, LI, y Gómez-Merino, FC (2012). *Soluciones nutritivas para sistemas hidropónicos*. En *Hidroponía: Una guía práctica para el cultivador sin suelo* (pp. 1-24). CRC Press.
- Yara. (2021). El fertirriego reduce en 31% el uso del agua en la agricultura. <https://www.yara.com.ec/noticias-y-eventos/noticias/el-fertirriego-reduce-en-31-el-uso-del-agua-en-la-agricultura/>
- Yescas-Coronado, P., Segura-Castruita, M. A., Orozco-Vidal, J. A., Enríquez-Sánchez, M., Sánchez-Sandoval, J. L., Frías-Ramírez, J.

E., ... & Preciado-Rangel, P. (2011). Uso de diferentes sustratos y frecuencias de riego para disminuir lixiviados en la producción de tomate. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 441-448.