



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
CARRERA DE BIOLOGÍA

**Eficiencia de insumos biológicos comerciales en el desarrollo
y rendimiento de la lechuga trocadero (*Lactuca sativa* L. var.
crispa) comparada con un cultivo artesanal de
microorganismos eficientes**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A:

LAURA ANGÉLICA LEDEZMA SAUCEDO

DIRECTORA DE TESIS
Dra. María Socorro Orozco Almanza

ASESORES

Dr. Arcadio Monroy Ata
M. en C. Eduardo Chimal Sánchez

CIUDAD DE MÉXICO

ENERO 2024

Investigación realizada con financiamiento de la DGAPA
(Proyecto PE204823)





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.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por abrirme sus puertas y a todos los profesores que me brindaron sus conocimientos.

Agradezco a mi directora de tesis, la Dra. Ma. Socorro Orozco Almanza, por permitirme ser parte del vivero Chimalxochipan, por brindarme su conocimiento, sus consejos, su amabilidad y también por ayudarme y guiarme en el proceso de elaboración de este trabajo.

Agradezco al profesor Roberto Ramos Gonzales y la profesora María de Jesús Rojas, por siempre brindarme sus conocimientos, por hacer del vivero un lugar lleno de muchas risas y buenos momentos.

Agradezco a mis Amigas Lucero, Xóchitl, Aimé y Mauri por acompañarme en este camino, las quiero mucho.

A xochitl, la gatita del vivero, gracias por hacerme repetir mis muestras, después de que sin querer las tiraras y gracias por ser el primer gatito que quise, siempre te recordaré.

Agradezco a BTS el grupo que conocí hace 4 años y que me dio el impulso para seguir adelante y querer ser mejor persona.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, gracias por ser mi fortaleza en las dificultades que se han presentado.

También dedico este trabajo a mi familia, pero principalmente a mis padres, gracias por siempre apoyarme y estar para mi todo el tiempo, por acompañarme las largas noches en vela, ser mi soporte en los momentos de éxito y fracaso, ser mis cómplices en todas mis locuras. Gracias por todo el esfuerzo que hicieron para que pudiera concluir este trabajo, me han brindado tanto, que hoy he logrado ser mejor persona.

INDICE

I.	RESUMEN.....	8
II.	INTRODUCCIÓN.....	10
III.	MARCO TEÓRICO.....	11
	2.1 <i>Lactuca sativa</i> var. <i>crispa</i> L.	11
	2.2 Agricultura orgánica o ecológica.....	11
	2.3 Prácticas de la agricultura ecológica.....	12
	2.4 Abonos orgánicos.....	13
	2.4.1 Bocashi.....	14
	2.5 Microorganismos eficientes.....	15
	2.5.1 Bacterias ácido-lácticas.....	16
	2.5.2 Levaduras.....	16
	2.5.3 Bacterias fotosintéticas.....	17
	2.5.4 Actinomicetos.....	17
	2.5.5 Hongos fermentadores.....	17
	2.6 Insumos biológicos.....	18
	2.6.1 Bene-plant.....	19
	2.6.2 Agromil V.....	19
	2.6.3 OrganoDel Jardín.....	20
IV.	ANTECEDENTES.....	21
V.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	23
VI.	HIPÓTESIS.....	23
VII.	OBJETIVOS.....	23
	7.1 Objetivo general.....	23
	7.2 Objetivos particulares.....	23
VIII.	METODOLOGÍA.....	24
	8.1 Germoplasma.....	24
	8.2 Insumos biológicos Agromil V, Organodel y Bene-plant.....	24
	8.3 Cultivo artesanal de microorganismos eficientes.....	25
	8.3.1 Recolecta de suelo.....	25
	8.3.2 Preparación de las trampas de arroz.....	26

8.3.3 Colocación de las trampas de arroz en el suelo.....	27
8.3.4 Preparación de una solución concentrada con ME.....	27
8.4 Siembra de la lechuga.....	28
8.5 Trasplante.....	29
8.6 Diseño experimental.....	30
8.7 Aplicación de los insumos biológicos.....	30
8.8 Variables morfológicas.....	31
8.8.1 Altura.....	31
8.8.2 Cobertura.....	31
8.8.3 Número de hojas.....	31
8.8.4 TCR.....	31
8.8.5 Variables del rendimiento.....	32
8.8.6 Índice de Dickson.....	32
8.8.7 Razón raíz/vástago.....	32
8.8.8 Costos de producción.....	33
8.8.9 Índice Beneficio/costo.....	33
IX. RESULTADOS.....	34
9.1 Calidad de sustrato determinado por el Departamento de suelos, Laboratorio Central Universitario de la universidad Autónoma de Chapingo.....	34
9.2 Variables.....	35
a) Altura.....	35
b) Cobertura.....	36
c) Hojas.....	37
d) Tasa de crecimiento relativo (TCR).....	38
e) Índice raíz/vástago R/V.....	39
f) Índice de calidad de Dickson.....	40
9.3 Variables del rendimiento.....	41
a) Rendimiento/área.....	41
9.4 Variables fisiológicas.....	42
a) Nitratos.....	42
b) Clorofila.....	46

c) Prueba Nitrógeno, Fósforo y Potasio (K)	47
d) pH.....	48
e) Conductividad eléctrica	49
f) Costo/Beneficio.....	50
X. DISCUSIÓN.....	52
10.1 Calidad de los sustratos	52
pH.....	52
Conductividad eléctrica.....	53
Densidad aparente	54
Materia orgánica	55
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).....	55
Nutrientes del suelo.....	55
10.2 Variables morfológicas.....	57
TCR.....	58
XI. CONCLUSIONES	61
XII. REFERENCIAS.....	62
12.1 Netgrafía	66
XIII. ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Envase de Agromil V	24
Figura 2.- Envase de Bene-plant.....	25
Figura 3.- Envase de OrganoDel Jardín.....	25
Figura 4.- Toma de muestra de suelo.....	26
Figura 5.- Vasos de plástico con arroz cocido para trampas de arroz	26
Figura 6.- Arroz con <i>Bacillus</i> spp. y <i>Bauveria bassiana</i>	27
Figura 7.- Bolsas de vivero con plántulas de lechuga	29
Figura 8.- Medida de aplicación de microorganismos eficientes	30
Figura 9.- Altura promedio de la lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos	35
Figura 10.- Cobertura media de lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos.	36
Figura 11.- Número de hojas promedio de la lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos.	37
Figura 12.- Tasa de crecimiento relativo de la lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos.....	38
Figura 13.- Relación raíz/vástago de la lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos.	39
Figura 14.- Índice de Dickson de la lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos.	40
Figura 15.- Rendimiento/m ² de la lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos.	41
Figura 16.- Concentración de nitratos en hojas externas de lechuga.....	42
Figura 17.- Concentración de nitratos en hojas medias de lechuga.	43
Figura 18.- Concentración de nitratos en hojas internas de lechuga.....	44
Figura 19.- Gráfica comparativa de concentraciones de nitratos en hojas externas, medias e internas de lechuga trocadero.	45
Figura 20.- Concentración de clorofila en lechuga trocadero por tratamiento.	46
Figura 21.- Pruebas de NPK realizadas con instrumentos de La Motte	47
Figura 22.- Medidor Horiba para conductividad eléctrica.....	49
1. Análisis de calidad de sustratos.....	67
2. Análisis de calidad de sustratos.....	68

I. RESUMEN

En el mercado comercial de insumos biológicos, existe una gran diversidad que prometen múltiples beneficios para el crecimiento y rendimiento de los cultivos hortícolas, no obstante, estos insumos pueden generar dependencia por parte de los agricultores y muchas veces no presentar los resultados esperados. Este trabajo evaluó la eficiencia en el rendimiento de la lechuga trocadero (*Lactuca sativa* var. *crispa*) de tres insumos biológicos comerciales: Bene-plant, Agromil V y OrganoDel, así como evaluar la eficiencia de un insumo artesanal de microorganismos eficientes. El experimento se realizó en el vivero “Chimalxochipan” de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Las semillas de lechuga fueron sembradas en un almácigo de 72 cavidades utilizando un sustrato de tierra negra, agrolita y bocashi (80%,10%,10%), posteriormente las plántulas fueron trasplantadas a bolsas de vivero negras de 2 kg de calibre 400, a cielo abierto. El diseño experimental consistió en tres bloques de 20 lechugas, con cuatro lechugas de cada tratamiento. Tanto los insumos comerciales como el insumo artesanal fueron aplicados quincenalmente al cultivo, de acuerdo con las instrucciones de uso del productor, los microorganismos eficientes se diluyeron a una relación 1:19 y se aplicaron 50 mL directamente al sustrato de crecimiento en cada planta de lechuga. Durante el crecimiento de las plantas, se evaluaron: altura, cobertura, número de hojas y al momento de la cosecha, tasa de crecimiento relativo, índice de Dickson, relación raíz/vástago y rendimiento por área y por tratamiento. Los resultados fueron analizados con una prueba ANOVA, en el programa NCSS v20.0.8.

Los resultados demostraron que las lechugas cultivadas con el insumo artesanal presentaron características morfológicas similares a las de los insumos biológicos comerciales. Las lechugas del tratamiento testigo, presentaron diferencias estadísticas significativas, con valores mucho menores ($p \leq 0.05$), en comparación con aquellas tratadas con los insumos tanto comerciales como el artesanal. Las plantas con Agromil presentaron las concentraciones más altas de nitratos en sus hojas, debido a la alta concentración de nitrógeno en el sustrato, superando los valores publicados por la Comisión Europea para su consumo. Las lechugas cultivadas con los otros insumos no presentaron este problema. En

conclusión, el cultivo de lechuga trocadero cultivada con el insumo artesanal presentó un desarrollo y rendimiento similar a las plantas cultivadas con los insumos biológicos comerciales, lo que demuestra por un lado la eficiencia de los insumos comerciales y por el otro, que el insumo artesanal puede sustituir el uso de éstos insumos comerciales, con concentraciones de nitratos en las hojas, aceptables para el consumo humano, además de no generar externalidades negativas, como impactos en el ambiente, ya que no utiliza plásticos durante su comercialización, y no genera contaminación al tener que transportarse a grandes distancias, ya que el agricultor o productor puede elaborarlo de manera local.

II. INTRODUCCIÓN

En la actualidad hay una gran diversidad de insumos biológicos, que prometen múltiples beneficios en los cultivos agrícolas. Estos insumos son utilizados frecuentemente por los agricultores y productores orgánicos, lo cual significa erogaciones económicas importantes, no obstante, también hay gran incertidumbre en cuanto a obtener los beneficios que ofrecen.

La agricultura orgánica es un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos locales, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y al mismo tiempo, a minimizar el uso de los recursos no renovable y no utilizar fertilizantes o plaguicidas sintéticos, para proteger el medio ambiente y la salud humana (ASERCA,2017). La sustitución de insumos químicos por biológicos puede presentar los mismos problemas para el agricultor que los que presenta la agricultura industrial, como dependencia económica e incremento de la huella de carbono, ya que estos productos generalmente se producen en otro lado diferente al lugar donde se venden y se aplican. Además, generalmente estos productos se elaboran de manera masiva y se distribuyen en el mercado, donde a veces permanecen mucho tiempo en anaquel, lo que tiene como consecuencia que éstos pierdan su eficiencia, además de que son productos que generalmente no son evaluados de manera subsecuente en relación con el momento en el que fueron envasados.

Existen alternativas para que los productores elaboren insumos equivalentes a los comerciales y con la misma o mejor eficiencia en el rendimiento de las plantas agrícolas. Uno de ellos son los microorganismos eficientes (ME) producidos de manera artesanal. Por ello, el objetivo de este trabajo es evaluar y comparar el rendimiento de la lechuga trocadero con la aplicación de tres insumos biológicos comerciales y un cultivo de ME.

III. MARCO TEÓRICO

2.1 *Lactuca sativa* var. *crispa* L.

Lactuca sativa var. *crispa* L. es una planta herbácea con hojas agrupadas en roseta, las cuales son anchas o alargadas a veces espatulada, ovaladas o redondas, margen liso o dentado, verdes, en ocasiones rojizas violáceas, su venación es pinada. La inflorescencia es una cima conformada por 15 a 20 flores hermafroditas. Esta planta normalmente es autógama, ya que la forma de la flor facilita la autofecundación (Gutiérrez-Queupil, 2011).

Lactuca sativa var. *crispa*, corresponde a las lechugas que forman cabezas, forma numerosas hojas de borde irregularmente recortado, las hojas externas se disponen abiertamente y las más nuevas e internas forman un cogollo o grumo central compacto, llamado cabeza. Las lechugas de este tipo son de mayor tamaño y pueden llegar a pesar más de 1 kg y presentan un período de siembra a cosecha largo, de más de 100 días; es la variedad que más se utiliza en Estados Unidos y muchos países (Gutiérrez-Queupil, 2011).

El cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) es de gran importancia económica nacional e internacionalmente debido a su alta demanda en el mercado ya que se consume en fresco para ensaladas y como decoración en la gastronomía; por su bajo contenido calórico es muy recomendado en dietas. Su importancia también recae en que se adapta a casi cualquier clima, ya que soporta climas fríos en comparación con otros cultivos (González-Pérez y Zepeda-López, 2013).

La lechuga es uno de los vegetales más consumidos en la dieta del ser humano. Aporta muy pocas calorías por su alto contenido en agua y su escasa cantidad de carbohidratos, proteínas y grasas (1).

2.2 Agricultura orgánica o ecológica

La agricultura orgánica o ecológica es un sistema de producción de alimentos alternativos, que procura un equilibrio entre el bienestar ecológico, económico y social del agroecosistema. No utiliza insumos, como fertilizantes y plaguicidas

sintéticos, medicamentos veterinarios, semillas modificadas genéticamente, conservadores, aditivos e irradiación, en su lugar utiliza prácticas de gestión específicas para el sitio de que se trate, que fomentan y mantienen la fertilidad del suelo a largo plazo y evitan la propagación de plagas y enfermedades (FAO, 2003).

Según la IFOAM (Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica por sus siglas en inglés, 2002) la agricultura orgánica es un sistema de producción de alimentos con un enfoque integral, basado en un conjunto de procesos que se presentan en un ecosistema sostenible, alimentos seguros y nutritivos, bienestar animal y justicia social. La producción orgánica es, por lo tanto, mucho más que un sistema de producción, que incluye o excluye determinados insumos (FAO, 2003).

La agricultura orgánica frente a la agricultura convencional mejora la biodiversidad y conduce a una menor degradación ambiental. Algunos beneficios de la agricultura ecológica en relación con el efecto invernadero, consiste en disminuir insumos químicos y el gasto de energía, además muestran también mejoras ambientales en los sistemas de producción (Ríos-Carmenado *et al.*, 2016).

La agricultura orgánica utiliza técnicas como la rotación e intercalado de cultivos, la doble excavación, el acolchado, la integración entre cultivos y el ganado, las cuales se practican en diversos sistemas agrícolas. Asimismo, en este tipo de agricultura orgánica, están prohibidos casi todos los insumos sintéticos y es obligatoria la rotación de cultivos para fortalecer el suelo (FAO, 1999).

2.3 Prácticas de la agricultura ecológica

En relación con la agricultura ecológica (AE) esta se trata de una técnica de producción agraria que prescinde del uso de fertilizantes químicos, pesticidas, fitohormonas, aditivos en los piensos, y en general de todos los productos químicos de síntesis. Este tipo de agricultura utiliza rotación de cultivos, control biológico de plagas, cultivos de abonos verdes entre otros, con el fin de mantener la productividad del suelo, sin deteriorar el entorno ni contaminar los alimentos (Guibertau, 1991).

La AE propugna un planteamiento integrador, aprovechando técnicas y prácticas tradicionales y modernas, utilizando racionalmente los recursos a su alcance, pero que debe evolucionar de acuerdo con el progreso del conocimiento del suelo y de las relaciones entre éste y los vegetales (Guibertean, 1991). Asimismo, la agricultura ecológica toma en cuenta tanto el sistema agroecológico como el social en el que trabajan los agricultores, pone un énfasis relativamente bajo en los centros experimentales y en los laboratorios y enfatiza fuertemente los experimentos de campo permitiendo así una mayor participación de los agricultores en el proceso de investigación (Altieri, 1999).

Las prácticas agrícolas modernas también aumentan las distancias entre los procesos sociales y ecológicos. El desarrollo agrícola convencional ha transformado los lazos entre productores y consumidores. Algunas prácticas agroecológicas relacionadas con la calidad del suelo y la biodiversidad, forman parte de la cultura y se convierten en compromisos sociales. El científico brinda los principios teóricos, las herramientas y las técnicas para comprender y justificar el uso agrícola del suelo, mejorar, innovar y/o complementar las prácticas ecológicas, así como dialogar desde diferentes disciplinas y experiencias.

En primera instancia se debe reconocer una serie de prácticas culturales que van a influir en una u otra forma sobre la respuesta de la práctica agroecológica aplicada y de hecho hacen parte de ella, por ejemplo, la selección de semillas que se usan, la época de siembra, la preparación del suelo, disponibilidad de agua y/o manejo de riego, sistemas de aplicación, áreas sobre las cuales se trabaja y condiciones ambientales, entre muchos otros factores (Sánchez *et al.*, 2012).

2.4 Abonos orgánicos

El abono orgánico es el resultado de la descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, los cuales digieren los materiales, transformándolos en otros benéficos que aportan nutrientes al suelo y a las plantas que crecen en él. Es un proceso controlado y acelerado de

descomposición de los residuos, que puede ser aerobio o anaerobio, dando lugar a un producto estable de alto valor como mejorador del suelo (Ramos-Agüero, 2014).

Los abonos orgánicos contienen nitrógeno mineral y cantidades significativas de otros elementos nutritivos para las plantas. En función del nivel aplicado, favorecen el aumento en los contenidos de materia orgánica del suelo, en la capacidad de retención de humedad y en el pH, y la disponibilidad del potasio, calcio y magnesio. En cuanto a las propiedades físicas, mejoran la infiltración de agua, la estructura del suelo y la conductividad hidráulica; por otro lado disminuyen la densidad aparente y la tasa de evaporación, así como promueven un mejor estado fitosanitario de las plantas (Ramos-Agüero, 2014).

2.4.1 Bocashi

El bocashi es un término de origen japonés que significa abono orgánico fermentado. Este abono incorpora al suelo materia orgánica y nutrientes esenciales como, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro los cuales mejoran las condiciones físicas y químicas del suelo (Ramos-Agüero, 2014). Estos abonos tienen como objetivo estimular la vida microbiana del suelo y la nutrición de las plantas (Ramos-Agüero, 2014).

El se puede elaborar con materiales locales, por lo que se pueden hacer variaciones de acuerdo con la materia prima disponible en la región (Ramos-Agüero, 2014).

El bocashi se elabora a partir de la descomposición aeróbica de residuos orgánicos por medio de microorganismos existentes en los propios residuos, en condiciones controladas, que producen un material principalmente estable de lenta descomposición, capaz de fertilizar a las plantas y al mismo tiempo nutrir al suelo. Algunas ventajas de su elaboración son:

- No se forman gases tóxicos ni surgen malos olores debido a los controles que se realizan en cada etapa del proceso de fermentación, evitando cualquier inicio de putrefacción.

- Mayor facilidad el manejo del abono, su almacenamiento, transporte y disposición de los materiales para elaborarlo.
- Se puede elaborar en la mayoría de los ambientes y climas donde se realicen actividades agropecuarias.
- Autorregulación de agentes patógenos del suelo, mediante la inoculación biológica natural, principalmente de bacterias, actinomicetos, hongos, levaduras, entre otros.
- Posibilidad de utilizar el producto final en los cultivos, en un periodo relativamente corto y a costos más bajos.
- Estimulación en el crecimiento de las plantas por una serie de fitohormonas y fitorreguladores naturales que se activan a través de los abonos fermentados.
- No requiere inversiones económicas muy altas en obras de infraestructura rural.
- Disponibilidad de los diferentes materiales en las diversas zonas (Ramos-Agüero, 2014).

2.5 Microorganismos eficientes

Los microorganismos eficientes (ME) son un grupo organismos, que cumplen diversas funciones en el suelo y mantienen en orden los ciclos normales de múltiples sustancias. Estos organismos son principalmente bacterias, hongos y actinomicetos viven naturalmente en el suelo y cumplen varias funciones, especialmente degradando y/ o transformando diversos materiales para que sean aprovechados en la nutrición de las plantas (2).

Los ME surgen desde la década de los años 60, aunque los mayores avances comienzan con los estudios de Teuro Higa, de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus, en Okinawa, en 1970. En sus ensayos y experimentos reunió a unas 2000 especies de microorganismos de los cuales 80 mostraron efectos eficaces. El doctor colocó una mezcla de los ME en arbustos pequeños y al cabo del tiempo observó un estímulo importante en el crecimiento de los mismos (Tanya-Morocho y Leiva-Mora, 2019).

Los ME tienen numerosas aplicaciones agrícolas debido a que favorecen la germinación de semillas, incrementan la floración, aumentan el crecimiento y desarrollo de los frutos, incrementan la biomasa, garantizan una reproducción exitosa en las plantas, mejoran la estructura física de los suelos, incrementan la fertilidad química de los mismos y suprimen a varios agentes fitopatógenos causantes de enfermedades (Tanya-Morocho y Leiva-Mora, 2019).

Los ME pueden utilizarse como inoculantes foliares y del suelo para reconstruir su equilibrio biológico, suprimir microorganismos patógenos por exclusión competitiva o dominación absoluta, mejorar la disponibilidad y asimilación de nutrientes para que estén de esta manera disponibles, y, por ende, favorecer el crecimiento, el rendimiento y la protección de cultivos (Acosta, 2012).

Los microorganismos eficientes son:

2.5.1 Bacterias ácido-lácticas (BAL): Son cocos o bacilos Gram positivos, no esporulados, inmóviles, anaerobios, microaerófilos o aerotolerantes; presentan oxidasa, catalasa y bencidina negativas, carecen de citocromos, no reducen el nitrato a nitrito y producen ácido láctico como el único o principal producto de la fermentación de carbohidratos. Además, las BAL sobreviven a ambientes ácidos con valores de pH tan bajos como 3, 2; otras a valores tan altos como 9 y la mayoría crece a pH entre 4 y 4.5. Estas características les permiten sobrevivir naturalmente en medios donde otras bacterias no lograrían sobrevivir (Tanya-Morocho y Leiva-Mora, 2019). Estos organismos producen ácido láctico a partir de azúcares que son sintetizados por las bacterias fotosintéticas y levaduras. El ácido láctico puede suprimir microorganismos nocivos como *Fusarium* sp. (Escalona-Aguilar, 2011).

2.5.2 Levaduras: Las levaduras son un grupo microbiano presente en la preparación de los ME que utilizan diversas fuentes de carbono entre ellas glucosa, sacarosa, fructosa, galactosa, maltosa, suero hidrolizado y alcohol. Varias especies del género *Saccharomyces* conforman esta comunidad microbiana, aunque prevalecen las especies *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida utilis*. Estos microorganismos requieren como fuente de nitrógeno el amoníaco, la urea o sales

de amonio y mezcla de aminoácidos. No son capaces de asimilar nitratos ni nitritos (Tanya-Morocho y Leiva-Mora, 2019). Además, degradan proteínas complejas y carbohidratos. Producen vitaminas, hormonas y enzimas que pueden estimular el crecimiento y actividad de otras especies de EM (Escalona-Aguilar, 2011).

2.5.3 Bacterias fotosintéticas: Este grupo de microorganismos está representado fundamentalmente por *Rhodopseudomonas palustris* y *Rhodobacter sphaeroides*, constituyen microorganismos autótrofos facultativos. Estas bacterias utilizan como fuente de carbono moléculas orgánicas producidas por los exudados de las raíces de las plantas y como fuente de energía utilizan la luz solar y la energía calórica del suelo (Tanya-Morocho y Leiva-Mora, 2019). Asimismo, fijan el nitrógeno atmosférico y el dióxido de carbono en moléculas orgánicas tales como aminoácidos y carbohidratos. Llevan a cabo una fotosíntesis incompleta, lo cual hace que la planta genere nutrientes, carbohidratos, aminoácidos, sin necesidad de la luz solar, eso permite que la planta potencialice sus procesos completos las 24 horas del día (Escalona-Aguilar, 2011).

2.5.4 Actinomicetos: Los actinomicetos son bacterias filamentosas con cierta similitud con los hongos. Consisten en un micelio ramificado que llega a fragmentarse en elementos bacterianos. Muchos actinomicetos son de vida libre, particularmente en el suelo. Se destacan por su papel principal en la solubilización de la pared celularo componentes de las plantas, hongos e insectos. Por ello tienen gran importancia en el compostaje y en la formación de suelos. Algunas especies de actinomicetos pueden ser endófitos en tejidos vegetales. Como componentes de ME *Streptomyces albus* y *Streptomyces griseus* son las principales especies de actinomicetos informadas (Tanya-Morocho y Leiva-Mora, 2019). Funcionan como antagonistas de muchas bacterias y hongos patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos, benefician el crecimiento y actividad de *Azotobacter* y de los hongos micorrícicos (Escalona-Aguilar, 2011).

2.5.5 Hongos fermentadores: Los hongos contribuyen con los procesos de mineralización del carbono orgánico del suelo; además una gran cantidad de los hongos son antagónicos de especies fitopatógenas. Dentro de los principales

representantes de estos hongos están: *Aspergillus oryzae* (Ahlburg) Cohn, *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp. y *Mucor hiemalis* Wehmer (Tanya-Morocho y Leiva-Mora, 2019). Las especies del género *Trichoderma* son hongos saprófitos, que sobreviven en suelos con diferentes cantidades de materia orgánica, los cuales son capaces de descomponerla y en determinadas condiciones pueden ser anaerobios facultativos, lo que les permite mostrar una mayor plasticidad ecológica. Se localizan en todas las latitudes, desde las zonas polares hasta la ecuatorial. Esta amplia distribución y su plasticidad ecológica están estrechamente relacionadas con su alta capacidad enzimática para degradar sustratos, un metabolismo versátil y resistencia a inhibidores microbianos. Las especies de *Trichoderma* pueden ejercer diferentes mecanismos biocontroladores como: competencia por espacio y nutrientes, micro parasitismo, antibiosis y la inducción de resistencia (Tanya-Morocho y Leiva-Mora, 2019).

2.6 Insumos biológicos

Los bioinsumos agrícolas son productos económica y ambientalmente aceptables en la agricultura ecológica, ya que además de reducir costos contribuyen a mejorar la fertilidad del suelo, además de producir cultivos saludables e inocuos (Uribe, 2008).

Los bioproductos o insumos biológicos, (biofertilizantes, bioestimuladores y bioplaguicidas) son componentes vitales de los sistemas de producción de alimentos sustentables, ya que constituyen medios económicamente atractivos y ecológicamente aceptables para reducir el uso de insumos externos y mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos, mediante la utilización de microorganismos debidamente seleccionados por su alta eficiencia e inocuidad, y que pueden ser generados a partir de recursos locales y tener carácter endógeno (Chirinos, 2007).

Los bioinsumos son productos biológicos formulados a base de microorganismos, macroorganismos o extractos vegetales o derivados de éstos, que se utilizan para promover el crecimiento y controlar distintos tipos de plagas.

Acompañando el crecimiento del sector de la agroecología, se han convertido en una herramienta fundamental para la producción de bajo impacto ambiental, rentable y eficiente (3).

Los bioproductos pertenecen a la categoría de las tecnologías capaces de resolver en parte los problemas de la agricultura tradicional y en la actualidad, su producción comercial se ha extendido considerablemente a nivel mundial.

No son tóxicos para las personas o el ambiente, no poseen residualidad ni toxicidad en plantas, lo que permite su uso exclusivo o en complemento con insumos químicos, favoreciendo la disminución en la utilización de los mismos.

2.6.1 Bene-plant

Promotor de crecimiento y controlador de plagas, que mejora la biología del suelo y de la planta, ayudando a la asimilación de nutrientes como el nitrógeno, el fósforo, y micronutrientes; repele microorganismos e insectos dañinos para los cultivos, aumenta el tamaño de las raíces, tallos, follaje, flores y frutos. Permite mantener el suelo vivo y sano para los futuros cultivos (4).

Es 100% orgánico, hecho a base de cinco microorganismos benéficos: *Azospirillum brasilense*, que es una bacteria fijadora del nitrógeno, promotora de desarrollo de raíces y controla bacterias fitopatógenas; *Bacillus subtilis*, bacteria controladora de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos, *Beauveria bassiana*, hongo entomopatógeno controlador de plagas, como orugas y termitas, sin afectar a los insectos benéficos, como son la mariposa monarca y las abejas, *Penicillium billai*, hongo solubilizador de fosfatos, permite que la planta aproveche las reservas de fósforo insoluble y *Paecilomyces lilacinus* hongo controlador de nematodos fitopatógenos de los géneros *Tylenchus* y *Meloidogyne*, entre otros (4).

2.6.2 Agromil V

Bioestimulante para el desarrollo vegetal, que proviene de extractos vegetales, que favorece el desarrollo armónico vegetativo y reproductivo de los cultivos. Su aplicación tiene que hacerse en la etapa de desarrollo de la planta en que hay

actividades de diferenciación y crecimiento celular y cuando demandan un esfuerzo fisiológico importante; también promueve el uso eficiente de los nutrientes y fotosintatos para la ejecución de dicha actividad. Puede reducir los efectos de estrés en los cultivos, cuando éstos son causados por ambiente adverso o por manejo, permitiéndole mantener y/ o recuperar el desarrollo (5).

Agromyl V también potencializa aplicaciones de fertilizantes foliares cuando es mezclado en el tanque de aplicación con dichos compuestos (5).

Este bioestimulante se compone de extractos de origen vegetal que contiene fitohormonas como citocininas, giberelinas y auxinas, así mismo contiene vitaminas biológicamente activas como son el ácido fólico, ácido pantoténico, riboflavina, nicotinamida, colina, niacina y tiamina, además de contener diluyentes y acondicionadores no especificados (5).

2.6.3 OrganoDel Jardín

Fertilizante y mejorador orgánico de suelos, resultado de la inoculación del estiércol con bacterias aerobias termofílicas, las cuales inician un proceso de descomposición generando temperaturas hasta 75 °C eliminando de esta manera las semillas de malas hierbas y patógenos, convirtiéndolo en humus y nutrientes asimilables para los cultivos (6).

OrganoDel provee materia orgánica inoculada con bacterias, rica en energía (humus) que contiene nitrógeno, fósforo y potasio en forma disponible y que hace accesibles el calcio, magnesio y azufre, necesarios para el desarrollo y crecimiento de las plantas. También, modifica la estructura del suelo, aumenta los niveles de aireación, la porosidad del suelo, la capacidad de retención del agua y además actúa como *buffer* (amortiguador), contrarrestando los cambios abruptos del pH del suelo cuando se aplican materiales ácidos o alcalinos (6).

IV. ANTECEDENTES

Cuadro 1. Estudios publicados relacionados con el tema bajo estudio

Autor	Año	Título	Objetivo	Conclusión
Pérez-Barraza <i>et al.</i> (2009).		Incremento del amarre y tamaño de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo' con reguladores del crecimiento.	El objetivo de este estudio fue conocer el efecto de la aplicación de giberelinas, citocininas y tidiazuron al follaje, sobre el número de frutos amarrados, número de frutos que llegan a la cosecha y tamaño de los frutos partenocárpicos en árboles de mango 'Ataulfo', en Nayarit, México.	El AG3, Agromil plus y TDZ incrementan el número de frutos amarrados y los frutos que llegan a la cosecha en mango 'Ataulfo'.
González-Ojeda	(2018).	Rendimiento de jitomate guaje (<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill.) en un cultivo intercalar con caléndula (<i>Calendula officinalis</i> L.) y con la aplicación de microorganismos eficientes	Realizar un cultivo orgánico de jitomate guaje asociado con caléndula, bajo condiciones de invernadero, con el fin de generar un plan de manejo que permita la producción para autoconsumo y mercadeo de baja escala o para un mercado local.	La aplicación de ME (microorganismos eficientes) no incrementó la altura ni el diámetro de la planta de jitomate tanto en monocultivo como policultivo, pero sí favoreció el número de flores y frutos por planta
Guzmán-Estrella	(2019).	Acumulación de nitratos en hojas	Evaluar el efecto de los abonos	Las lechugas cultivadas con

		de lechuga orgánicos vs. la abonos orgánicos (<i>Lactuca sativa</i> L. fertilización química, acumularon var. trocadero) en la acumulación menores bajo cultivo de nitratos en las cantidades de orgánico. hojas de la lechuga nitratos en sus (<i>Lactuca sativa</i> L. hojas que aquellas var. trocadero), cultivadas con un conocida fertilizante químico comúnmente como lechuga francesa.		
Luna-Barreda	(2019).	Control de nemátodos e los microorganismos incrementos del rendimiento en jitomate guaje (<i>Lycopersicon esculentum mill.</i> var. el cid f1) con microorganismos eficientes (<i>Trichoderma spp.</i>) en invernadero	de Evaluar el efecto de los microorganismos eficientes (cultivados artesanalmente) en el control de los nematodos edáficos y en el rendimiento del jitomate guaje (<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i> var. El Cid F1) abonado con bocashi.	La aplicación de microorganismos eficientes (M.E.C y T.A) elaborados artesanalmente, controla la infestación de nemátodos por arriba del 80% comparada con el tratamiento testigo que solo fue abonado con bocashi.

V. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Los microorganismos eficientes (ME) producidos de manera artesanal, mejoran el rendimiento en biomasa de la lechuga trocadero?, y ¿pueden ser más eficientes en la producción de la lechuga trocadero, comparados con los insumos comerciales?

VI. HIPÓTESIS

La eficiencia de los insumos comerciales presentará un rendimiento diferencial negativo en relación con el cultivo artesanal con microorganismos eficientes, debido al tiempo que éstos permanecen en anaquel, hasta su venta, lo cual disminuye la viabilidad de sus componentes.

VII. OBJETIVOS

7.1 Objetivo general

Evaluar la eficiencia de tres insumos biológicos promotores del crecimiento de las especies agrícolas, comparada con la de un cultivo artesanal de microorganismos eficientes, en plantas de *Lactuca sativa* var *crispa* L.

7.2 Objetivos particulares

Evaluar la eficiencia de los insumos biológicos OrganoDel, Agromyl V y Bene-plant en el crecimiento y rendimiento de la lechuga trocadero.

Comparar la eficiencia de los insumos biológicos con un cultivo artesanal de ME en el crecimiento y rendimiento de la lechuga trocadero.

Calcular los costos de producción y el índice costo/beneficio para las lechugas cultivadas en cada tratamiento con los insumos biológicos.

VIII. METODOLOGÍA

8.1 Germoplasma

Las semillas de lechuga se compraron en el mercado municipal de Ixtapaluca, Estado de México, estas semillas corresponden a la marca Mr. Garden, con un contenido neto de 1 g. De acuerdo con las indicaciones del comerciante se recomienda hacer la germinación en almácigo y realizar el trasplante 25 días después de la siembra y realizar 1 a 3 riegos por semana manteniendo húmedo el suelo, sin dejar estancar el agua. El clima sugerido para el cultivo de la lechuga francesa o trocadero es en clima templado, evitando el sol directo. Esta especie tiene un tiempo de cosecha de 100 a 120 días

8.2 Insumos biológicos Agromil V, OrganoDel y Bene-plant

Agromil V (Fig. 1). - Se compró en Mercado Libre, con un contenido neto de 1 L, para hortalizas, el productor recomienda el uso de 500 ml por hectárea, y realizar dos aplicaciones, la primera al inicio de la floración de las plantas y la segunda 3 a 4 semanas después de la primera aplicación.



Figura 1.- Envase de Agromil V

Bene-plant (Fig. 2). - Se adquirió en Mercado Libre, con un contenido neto de 1 kg, el rendimiento del producto es de $10m^2$



Figura 2.- Envase de Bene-plant

OrganoDel (Fig. 3). - Se compró en la tienda comercial HOME DEPOT con un contenido neto de 30 kg. Para las plantas ornamentales el productor recomienda el uso de una parte de OrganoDel por tres de tierra, al momento de siembra o cada vez que se cambie la tierra a la maceta. La recomendación para hortalizas es de 800 a 1500 kg/ha y recomiendan que se aplique directamente en el surco.



Figura 3.- Envase de OrganoDel Jardín

8.3 Cultivo artesanal de microorganismos eficientes (trampas de arroz)

8.3.1 Recolecta de suelo

1. Se recolectó una muestra de suelo (Fig. 4) en un bosque de coníferas y encinos. Localizado en el Pueblo de San Rafael, Tlalmanalco en el Estado de México ubicado al sureste del Estado de México entre los paralelos 19°80'48" y 19°15'43" y los meridianos 98°37'58" y 98°51'20" (Inafed). Se eligió un sitio que se encuentre lo más natural posible y se recolectarán 2 costales de tierra de 20 kg cada uno. La muestra de suelo se tomó

principalmente de la capa superficial del mismo, procurando tomar muestras de distintos cuadrantes escogidos de manera aleatoria (Méndez, 2019).



Figura 4.- Toma de muestra de suelo

1. Posterior a su recolección la tierra fue depositada en cajas tipo huacal, que se encontraran previamente cubiertas con plástico.

8.3.2 Preparación de las trampas de arroz

1. Se puso a hervir agua
2. Una vez que hirvió el agua, se agregó el arroz y se dejó 2 minutos para que este quede cocido al dente, posteriormente se coló.
3. Cuando el arroz estuvo frío, se agregó a vasos de plástico transparentes de 250 ml, y cada uno se cubrió con una malla de mosquitero. Se enterraron 15 en cada huacal (Fig. 5).



Figura 5.- Vasos de plástico con arroz cocido para trampas de arroz

8.3.3 Colocación de las trampas de arroz en el suelo

1. Se hicieron hoyos en el suelo que previamente fue colocado en las cajas huacales y se pusieron los recipientes con arroz, boca abajo procurando que la malla no se mueva para evitar que el arroz salga de los recipientes.
2. Se cubrió el recipiente con un poco de suelo
3. Se dejaron los vasos enterrados en el suelo de 7 a 15 días, posteriormente se sacaron y se evaluó la presencia de microorganismos recolectados.
4. Se escogió el arroz que contara con organismos benéficos (Fig. 6) como los granos teñidos de color verde (*Trichoderma* spp.), amarillo (*Bauveria bassiana*) y blanco (*Bacillus* spp.). El arroz que tenía presencia de organismos color rojo, gris, morado o lila fueron desechados, ya que indica la presencia de organismos patógenos como *Rhizoctonia* y *Fusarium*



Figura 6.- Arroz con *Bacillus* spp. y *Bauveria bassiana*

8.3.4 Preparación de una solución concentrada con ME

1. Se molió el arroz teñido de los colores antes mencionados en una licuadora y posteriormente esta mezcla, se colocó en un bote de plástico de 20 L, el cual contenía 8 litros de agua de lluvia, y sobre el agua se vertió la mezcla con los ME, se le añadió 1 L de melaza. Al bote se le colocó una tapa hermética con un sello de agua para permitir el escape de gases durante la fermentación. Se dejó activar la mezcla durante 15 días (donde ya no hay emanación de gases). Esta mezcla se dejó en el bote (ahí puede permanecer solo por un mes) y solo se tomó la cantidad necesaria para ser aplicada en el cultivo.

2. Para la aplicación en el cultivo, se mezclaron 1L del concentrado en 19 L de agua de lluvia o agua sin cloro. Se aplicó cada 15 días al cultivo, procurando no mojar las hojas de lechuga con la disolución.

8.4 Siembra de la lechuga

Sustratos utilizados:

60% Tierra de monte

30% OrganoDel

10% Agrolita

Se utilizó un sustrato adicionado con Bocashi, esto con el fin de ver el desempeño del OrganoDel al ser adicionado para el sustrato de un almacigo.

80% Tierra de Monte

10% Bocashi

10% Agrolita

Se utilizó un almacigo de 72 cavidades, las cuales fueron llenadas con los sustratos anteriormente mencionados, y se sembraron las semillas, procurando que quedaran enterradas a una profundidad aproximada de 0.5 cm, posteriormente fueron cubiertas con turba, esto con el fin de permitir que el sustrato mantuviera la humedad. Para evitar que la fauna de la zona desenterrara las semillas se cubrió el almacigo con una malla tipo mosquitero.

El riego se realizó cada tercer día por capilaridad.

8.5 Trasplante

Cuando las plántulas contaron con aproximadamente 7 a 8 cm de alto, se trasladaron a bolsas para vivero de plástico negro calibre 400 de 2 L, utilizando como sustrato base para el crecimiento 60% de tierra de monte, 30% de Organodel y 10% de Agrolita (Fig. 7).



Figura 7.- Bolsas de vivero con plántulas de lechuga

Se tuvieron cuatro tratamientos y un testigo, para evaluar la eficiencia de los insumos comerciales y el insumo artesanal (Cuadro 2), cada uno con 12 repeticiones por cada tratamiento, con un total de 60 unidades experimentales.

8.6 Diseño experimental

Cuadro 2. Diseño experimental

Tratamientos	Testigo	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Especie: Lechuga trocajero	Tierra de Monte	60% Tierra de monte 30% OrganoDel 10% Agrolita	60% Tierra de monte 30% OrganoDel 10% Agrolita +Agromil	60% Tierra de monte 30% OrganoDel 10% Agrolita +Bene plant	60% Tierra de monte 30% OrganoDel 10% Agrolita +ME artesanales
N	12	12	12	12	12

8.7 Aplicación de los insumos biológicos

Los microorganismos eficientes se aplicaron 1 vez/quincena al cultivo de la lechuga procurando aplicarlo solamente en el sustrato para evitar maltratar las plantas (Fig. 8).



Figura 8.- Medida de aplicación de Microorganismos Eficientes

El productor de Agromil V, indica la aplicación de 1 mL por litro de agua, al inicio del desarrollo vegetal y recomienda repetir la aplicación con intervalos de 3 a 4 semanas. El producto debe agitarse antes de usarse. Se deberá realizar una premezcla de agua con la cantidad de Agromil V a aplicar, se tiene que agitar y verter en el tanque de aspersión.

Bene-plant recomienda la aplicación alrededor del tallo de 2 a 5 cm, y se tiene que utilizar 20 g/m² y realizar un riego abundante, esto se debe realizar cada 15 días durante 2 meses y repetir de nuevo cada año o al iniciar cada ciclo de cultivo.

8.8 Variables morfológicas

Quincenalmente se evaluaron en el cultivo/tratamiento las siguientes variables de respuesta:

8.8.1 Altura. - La altura de la planta se midió con un flexómetro, considerando desde la base del tallo hasta la yema apical.

8.8.2 Cobertura. - Se midieron dos diámetros de la cobertura foliar, pasando éstos por el centro de la planta y ésta será calculada con base a la fórmula del área de un círculo, con un radio promedio de los dos diámetros:

$$A=\pi r^2$$

8.8.3 Número de hojas. - El número de hojas se cuantificó a los 30, 60 y 90 días después del trasplante en los tres tratamientos.

8.8.4 TCR (Tasa de Crecimiento relativo). Definida como la ganancia de la biomasa en el tiempo.

$$\frac{\ln \text{altura final} - \ln \text{altura inicial}}{T_2 - T_1} = \text{día}^{-1}$$

Dónde:

Ln altura final= logaritmo natural de altura final (cosecha)

Ln altura inicial= logaritmo natural de altura inicial (trasplante)

T2= Tiempo final

T1= Tiempo inicial

8.8.5 Variables del rendimiento

Al momento de la cosecha de 90 a 120 días las lechugas de cada tratamiento se pesaron para determinar su peso fresco y después se secaron en una estufa a 70°C, para determinar su peso seco.

Se calculó el rendimiento/planta y por m².

8.8.6 Índice de Dickson

El índice de calidad de Dickson se obtuvo con los datos del peso fresco total (g), el coeficiente entre la altura del tallo (mm) con el diámetro del mismo (mm) y el índice tallo/raíz de las plantas evaluadas.

$$QI= PST/[(AT/DT)+(ITR)]$$

Dónde:

QI= Índice de calidad de Dickson

PST= Peso seco total (g)

AT= Altura del tallo (mm)

DR= Diámetro del tallo (mm)

ITR= Índice tallo/raíz

8.8.7 Razón raíz/vástago

Se calculó con la siguiente fórmula.

$$RAR= \frac{\text{peso seco aéreo(g)}}{\text{peso seco radical (g)}}$$

8.8.8 Costos de producción

Se calculó por tratamiento, considerando los costos de los insumos más los costos de la mano de obra.

8.8.9 Índice Beneficio/costo

El índice costo beneficio para cada tratamiento se calculó con los costos del precio de venta en el mercado y los costos de producción de cada tratamiento.

Índice beneficio/costo= beneficios totales / costo de producción.

Si $B/C \geq 1$ El tratamiento es rentable económicamente.

Si $B/C \leq 1$ El tratamiento no es rentable

Si $B/C = 0$ No hay ganancias ni pérdidas.

IX. RESULTADOS

Calidad del sustrato

9.1 Calidad de sustrato determinado por el Departamento de suelos, Laboratorio Central Universitario de la universidad Autónoma de Chapingo

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis, los sustratos adicionados con insumos orgánicos incluyendo los microorganismos eficientes, presentaron características químicas aptas para el desarrollo de cultivos, en comparación con el sustrato testigo.

Cuadro 3.- Calidad de los diferentes sustratos utilizados para el cultivo de la lechuga francesa. (S+A=Sustrato más Agromil V, S+M.E.= Sustrato más Microorganismos eficientes, S+B= Sustrato más Bene-plant).

Tratamiento	pH	CE dSm ⁻¹	MO %	N %	P %	K %	Na %	Ca %	Mg %	CIC Cmol(+) Kg ⁻¹	Fe %	Cu mgKg ⁻¹	Zn mgKg ⁻¹	Mn mgKg ⁻¹	B mgKg ⁻¹	Dens. C/N Apar. gcm ⁻³	
Testigo	6.50	0.23	8.61	0.61	0.09	0.10	0.12	0.46	0.22	21.3	1.96	36.0	134.00	377.0	270.09	1.06	14.4
Trat. 1	7.33	7.57	13.72	0.96	0.19	0.59	0.31	0.74	2.02	28.3	1.43	54.00	336.25	472.50	278.01	0.97	13.3
S+A	7.92	1.81	17.82	1.84	0.21	0.57	0.32	0.79	0.91	39.7	2.74	86.00	120.75	358.50	229.70	0.86	7.1
S+M.E.	8.09	1.68	16.81	1.14	0.14	0.55	0.32	0.93	0.86	42.5	2.85	83.25	118.50	367.50	104.43	0.85	12.0
S+B	7.80	3.75	16.81	1.31	0.41	0.69	0.40	0.94	0.89	39.7	2.74	86.00	116.50	369.25	162.48	0.83	10.5

Eficiencia de los insumos biológicos.

9.2 Variables

a) Altura

Las plantas de lechuga presentaron una altura con valores entre 6.5 y 23.5 cm presentando diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos (Fig. 9). Las lechugas a las que se les aplicaron los insumos Bene-plant, Agromil V y microorganismos eficientes, además de OrganoDel, presentaron los mayores valores en relación al testigo.

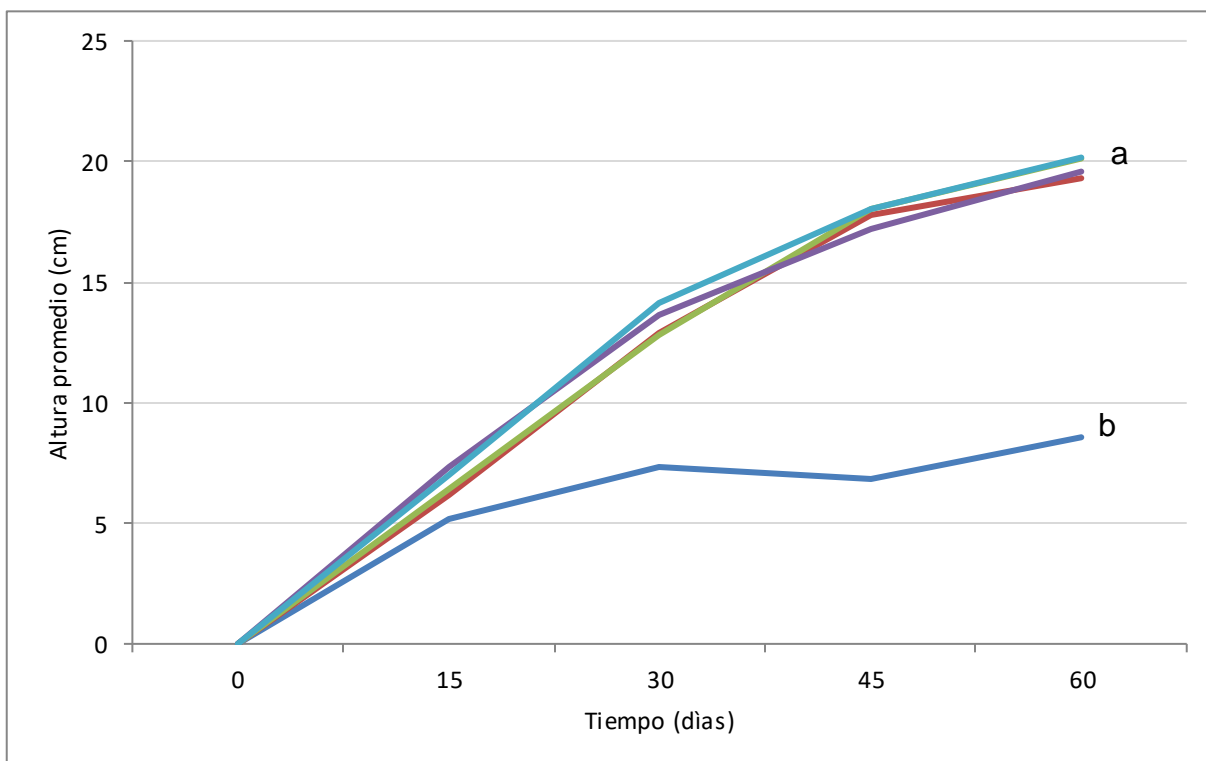


Figura 9.- Altura promedio de la lechuga trocadero con diferentes insumos biológicos.

(● M.E., ● Bene-plant, ● Agromil, ● Tratamiento, 1 ● Testigo)

Letras diferentes sobre las líneas indican que hay diferencias estadísticas significativas en los diferentes tratamientos (ANOVA $F = 44.68$, $P = 0.000000$)

b) Cobertura

La cobertura de las lechugas presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, (Fig.10). La cobertura de las lechugas osciló entre 6 y 36.75 cm². El testigo presentó el menor valor y las lechugas que fueron adicionadas con los insumos biológicos, presentaron los valores mayores.

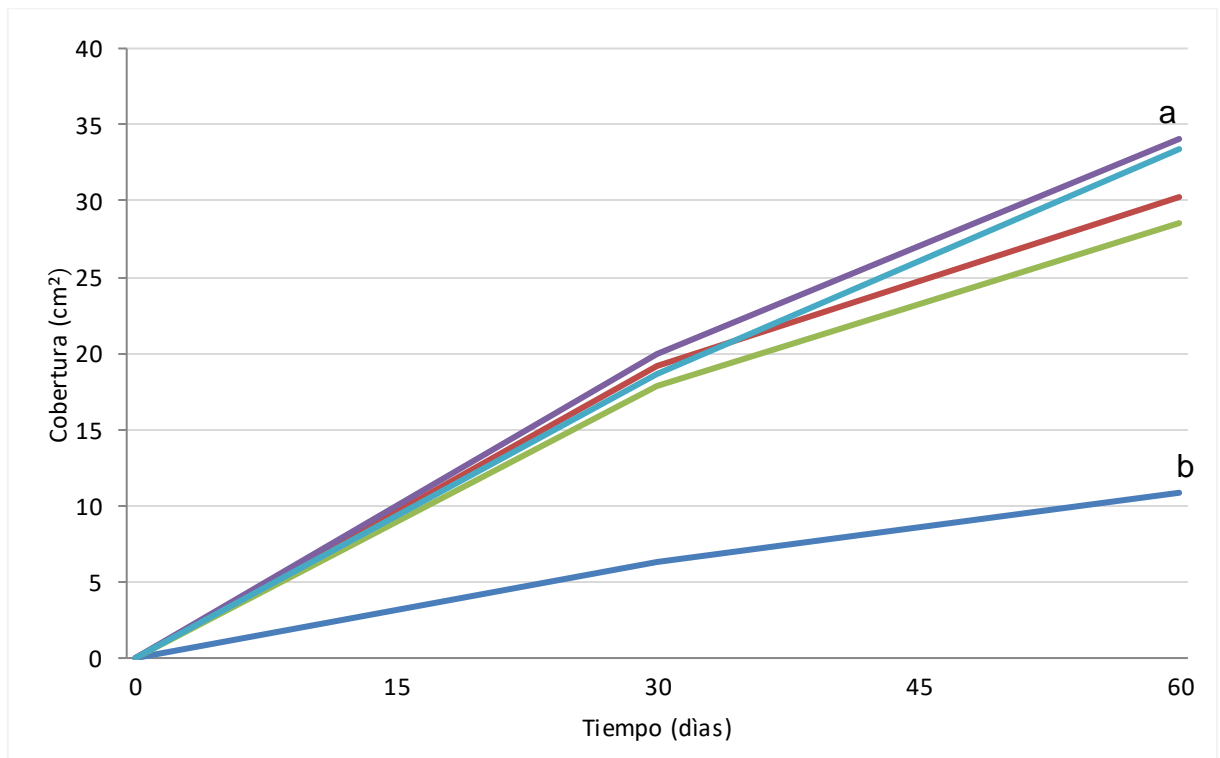


Figura 10.- Cobertura media de lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos.

(● ME, ● Bene-plant, ● Agromil, ● Tratamiento 1, ● Testigo)

Letras diferentes sobre las líneas indican que hay diferencias estadísticas significativas en los diferentes tratamientos (ANOVA $F = 59.57$, $P = 0.000000$)

c) Hojas

El número de hojas de las plantas de lechuga presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), el testigo presentó menor número de hojas a diferencia de los tratamientos (Fig. 11).

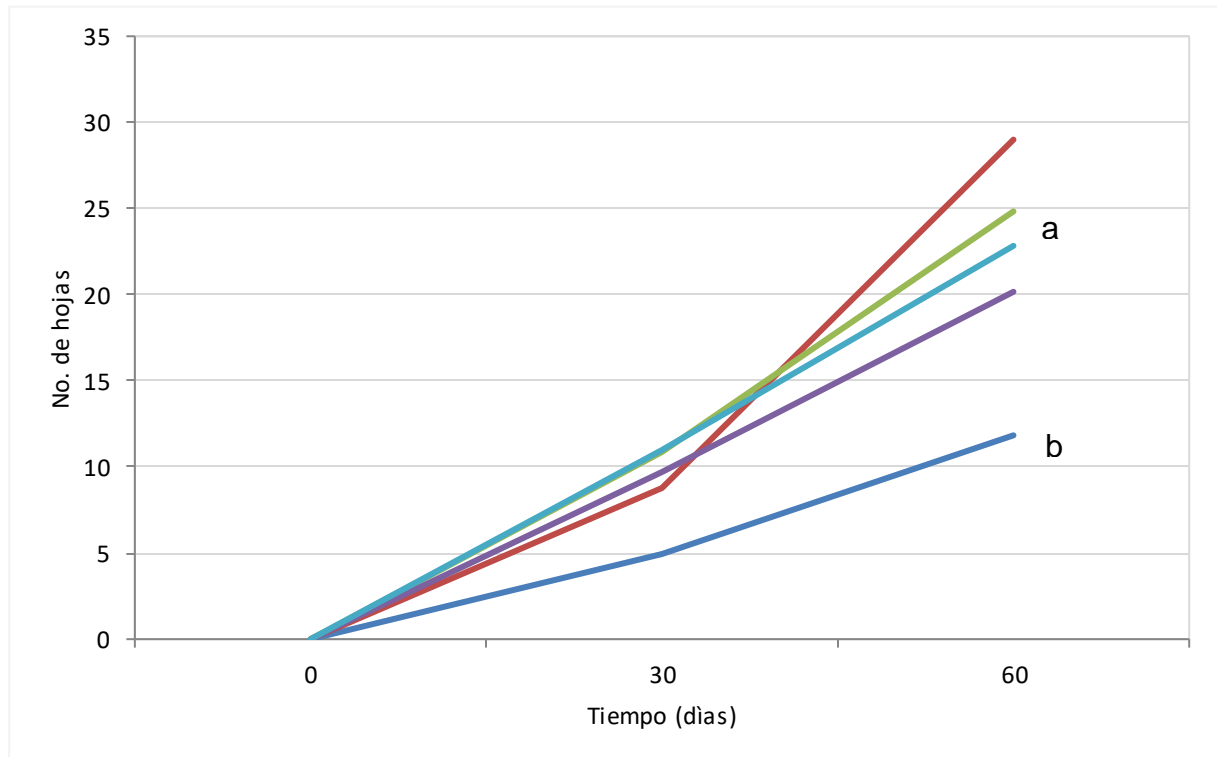


Figura 11.- Número de hojas promedio de la lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos.

(● M.E., ● Bene-plant, ● Agromil, ● Tratamiento 1, ● Testigo)

Letras diferentes sobre las líneas indican que hay diferencias estadísticas significativas en los diferentes tratamientos (ANOVA $F= 34.88$, $P= 0.000000$)

d) Tasa de crecimiento relativo (TCR)

La TCR presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. El valor menor lo presentó el testigo, en comparación con los adicionados con los insumos orgánicos (Fig. 12).

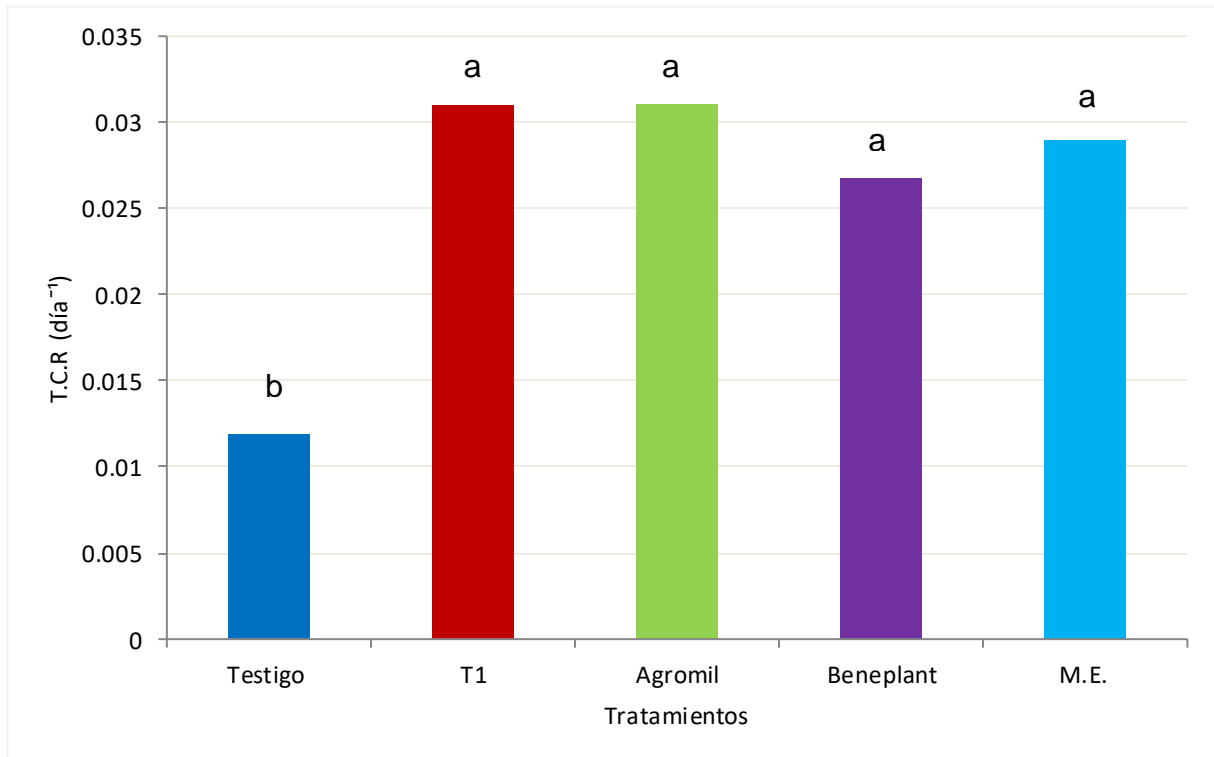


Figura 12.- Tasa de crecimiento relativo de la lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos.

Las letras diferentes en las barras determinan que existen diferencias significativas entre los tratamientos (ANOVA $F=18.96$, $P=0.000000$)

e) Índice raíz/vástago R/V

El índice R/V (Fig. 13) fue mayor en el cultivo cuyo sustrato se adicionó con microorganismos eficientes obteniendo diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) en relación a los otros tratamientos.

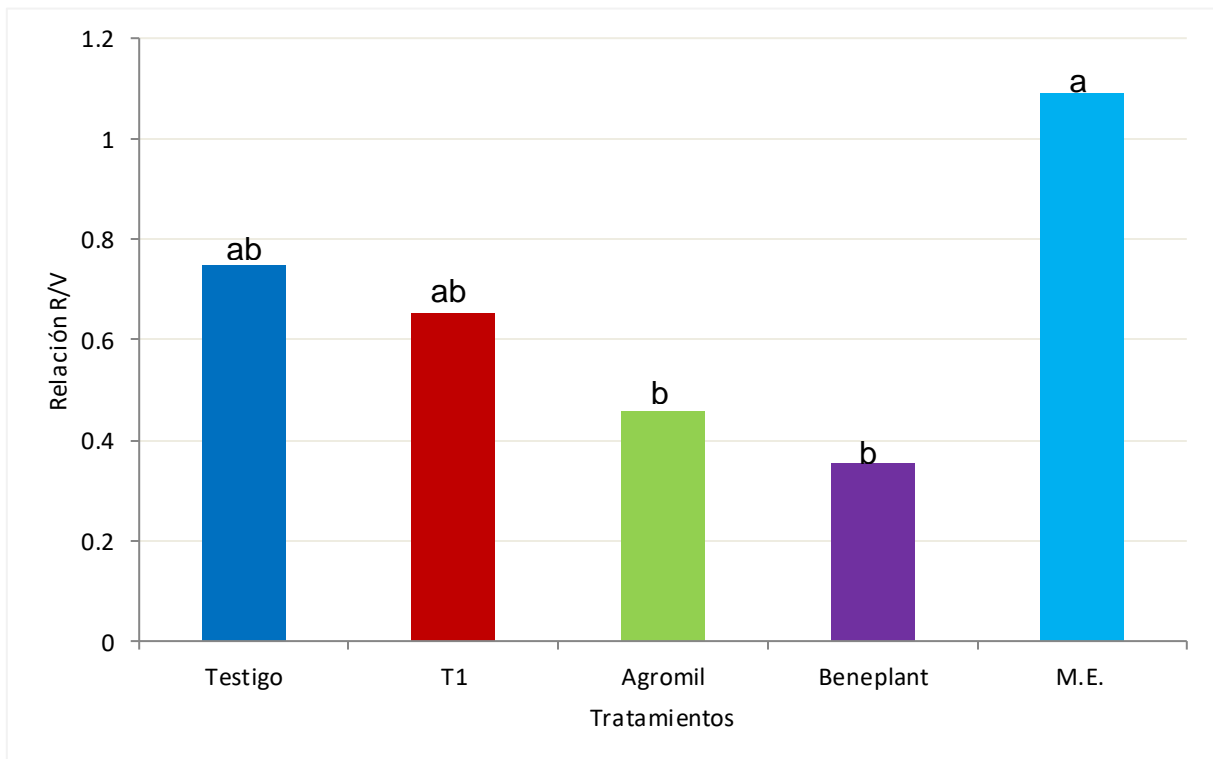


Figura 13.- Relación raíz/vástago de la lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos.

Las letras diferentes en las barras determinan diferencias significativas entre los tratamientos (ANOVA $F=5.6653$, $P=0.00218$)

f) Índice de calidad de Dickson

El tratamiento que presentó mayor ICD (18.08) fue el adicionado con microorganismos eficientes, sin embargo, las diferencias estadísticas no fueron significativas con respecto a los otros tratamientos ($p \leq 0.05$) (Fig.14).

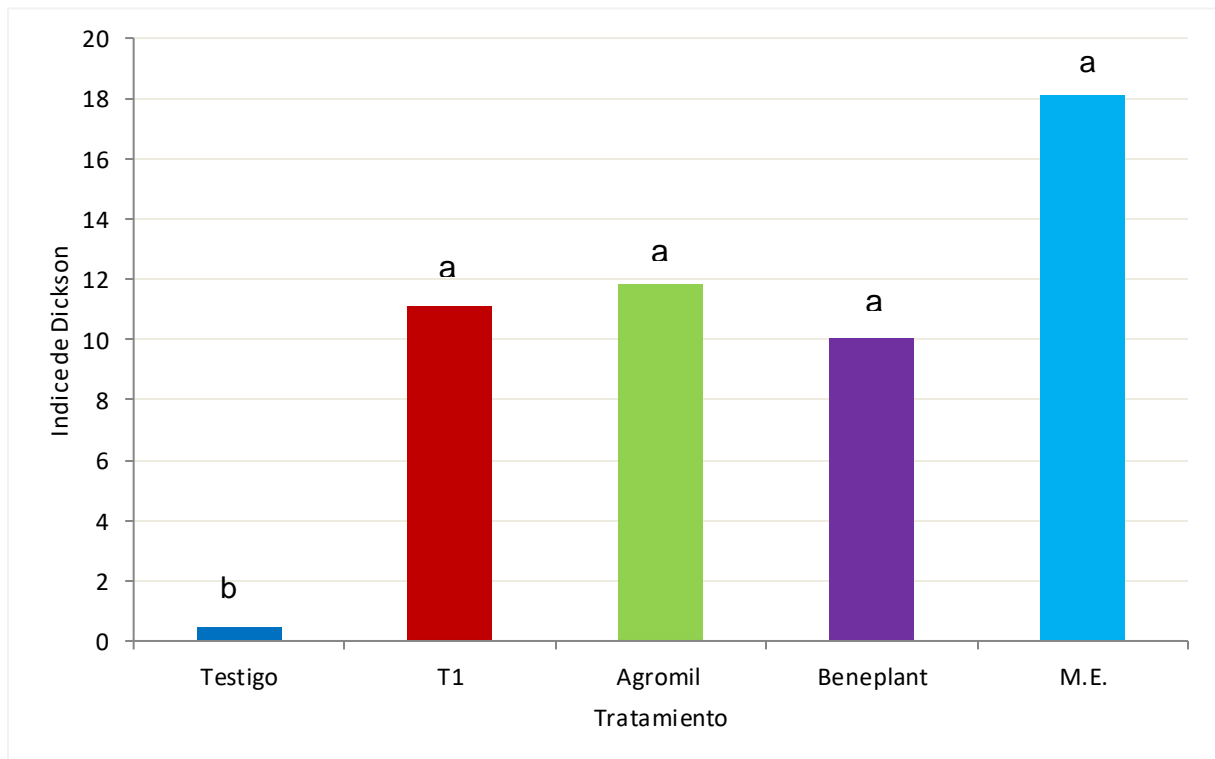


Figura 14.- Índice de Dickson de la lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos.

Las letras diferentes sobre las barras determinan diferencias significativas entre los tratamientos (ANOVA $F=8.5112$, $P=0.00018$)

9.3 Variables del rendimiento

a) Rendimiento/área

Las plantas de lechuga que obtuvieron mayor rendimiento por área fueron las adicionadas con Bene-plant, Agromyl V, OrganoDel y M.E. (Fig. 15), y las que obtuvieron menor rendimiento fueron las del testigo.

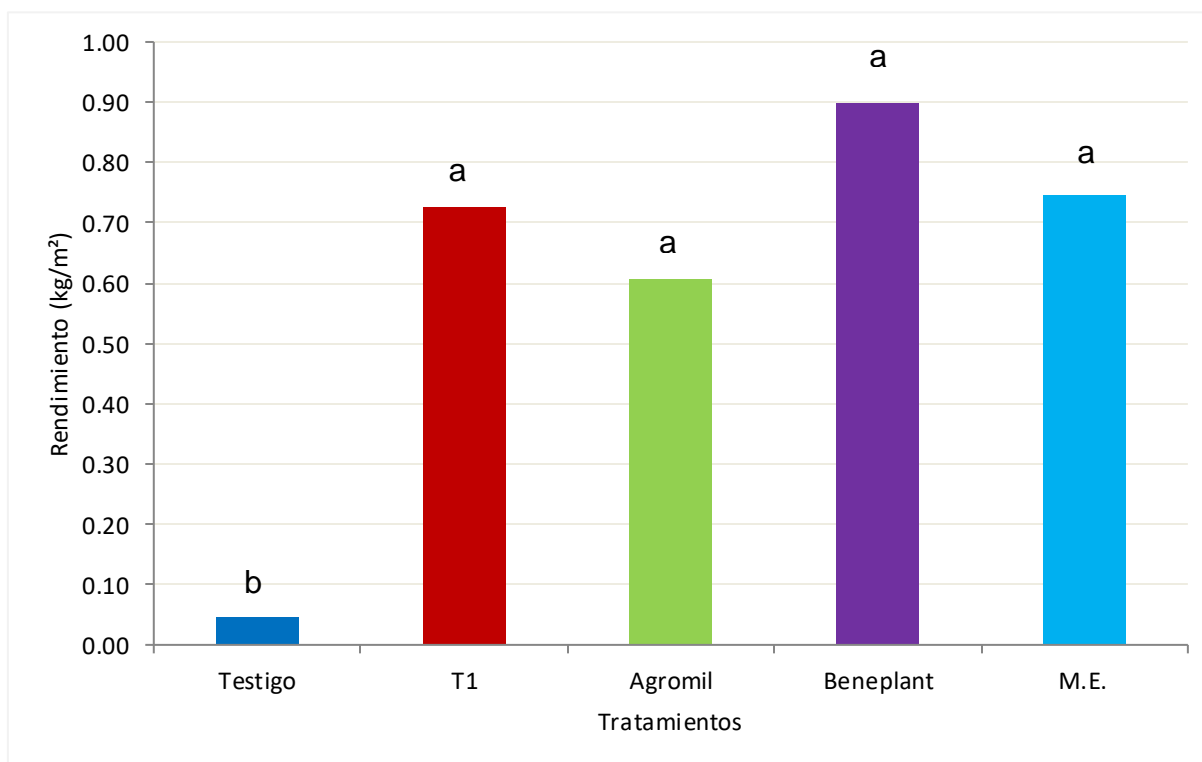


Figura 15.- Rendimiento/m² de la lechuga trocadero en diferentes insumos biológicos.

Las letras diferentes sobre las barras determinan diferencias significativas entre los tratamientos (ANOVA F=14.7781, P=0.000000)

9.4 Variables fisiológicas

a) Nitratos

Las lechugas que tuvieron mayor concentración de nitratos en sus hojas fueron las del sustrato adicionado con Agromil V (Fig.16). Las hojas intermedias (Fig.17), presentaron la mayor concentración de los mismos. Las lechugas testigo presentaron la menor concentración de nitratos (Fig. 18).

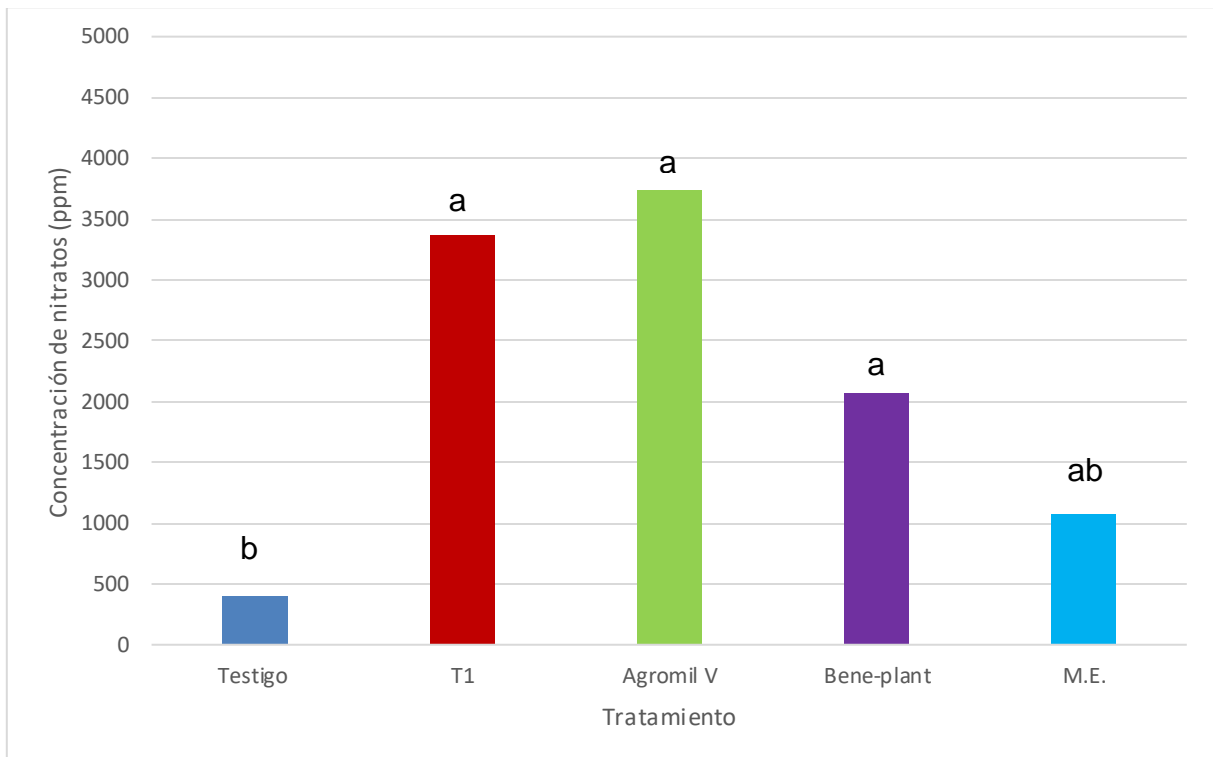


Figura 16.- Concentración de nitratos en hojas externas de lechuga.

Las letras diferentes sobre las barras determinan diferencias significativas entre los tratamientos (ANOVA $F=6.1860$, $P=0.00901$)

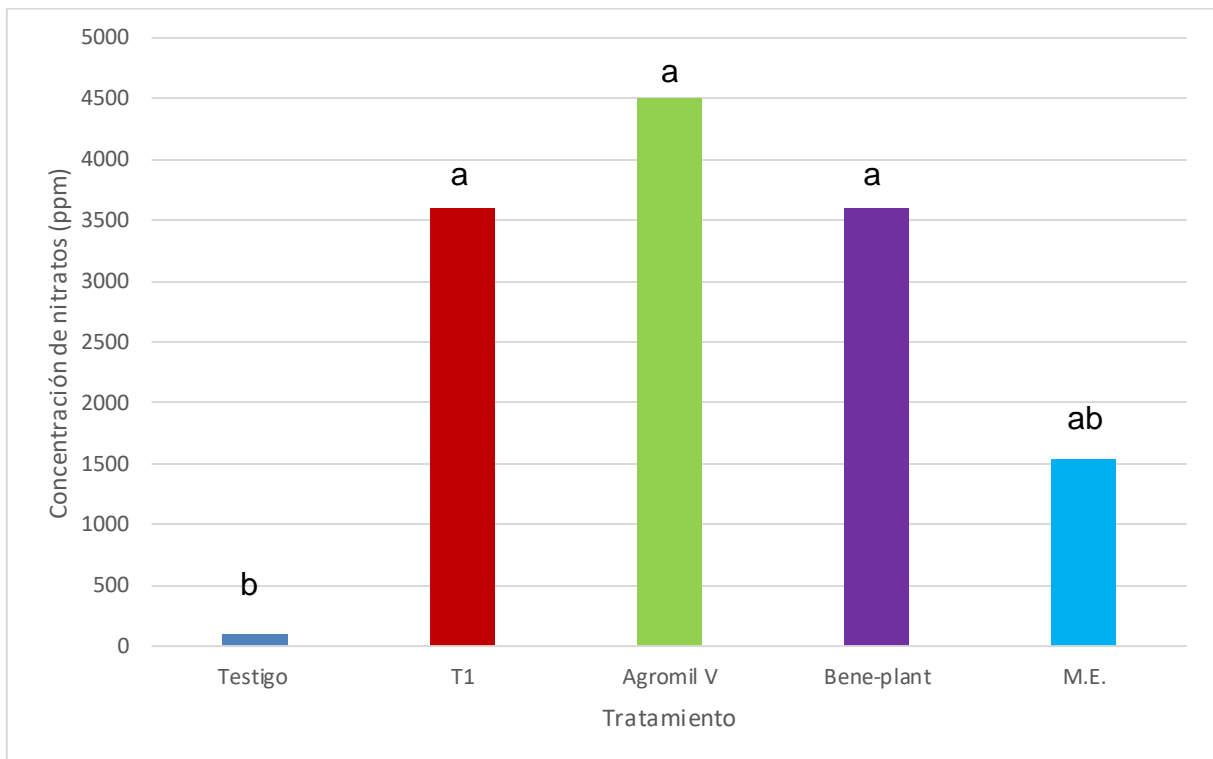


Figura 17.- Concentración de nitratos en hojas medias de lechuga.

Las letras diferentes sobre las barras determinan diferencias significativas entre los tratamientos (ANOVA $F=7.0023$, $P=0.00591$)

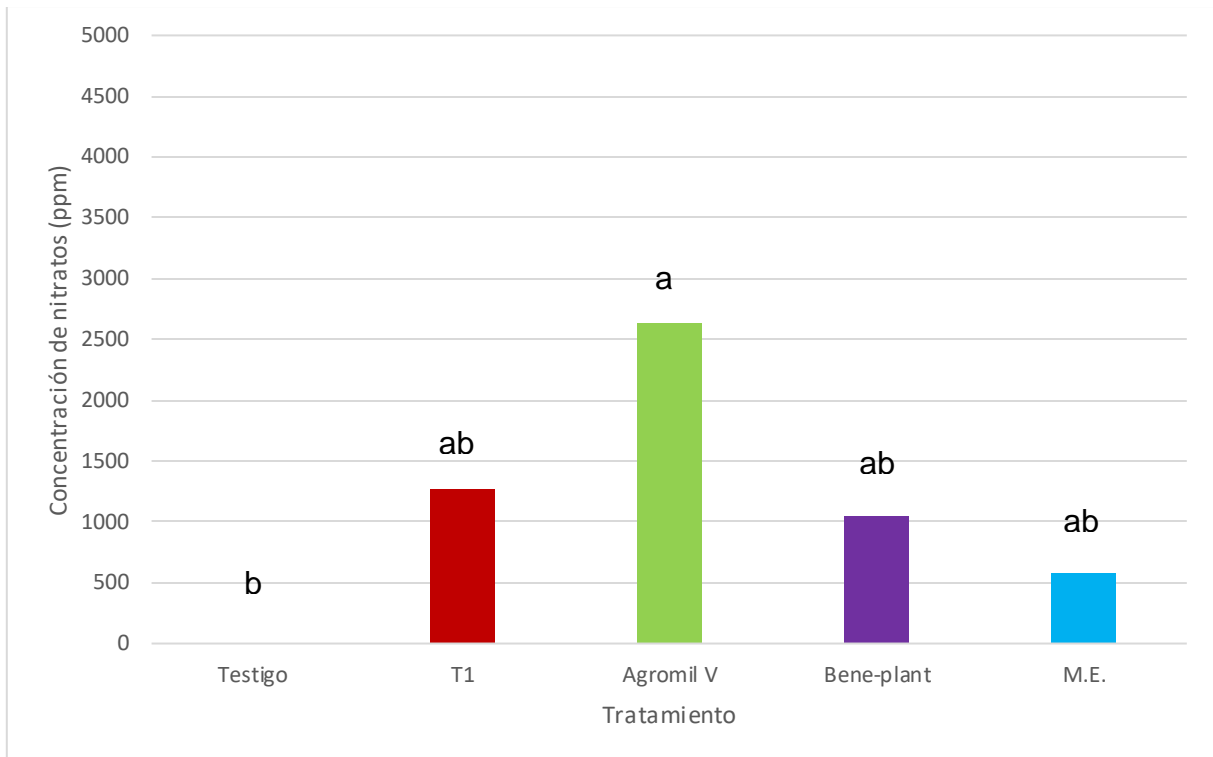


Figura 18.- Concentración de nitratos en hojas internas de lechuga.

Las letras diferentes sobre las barras determinan diferencias significativas entre los tratamientos (ANOVA $F=94.7833$, $P=0.000000$)

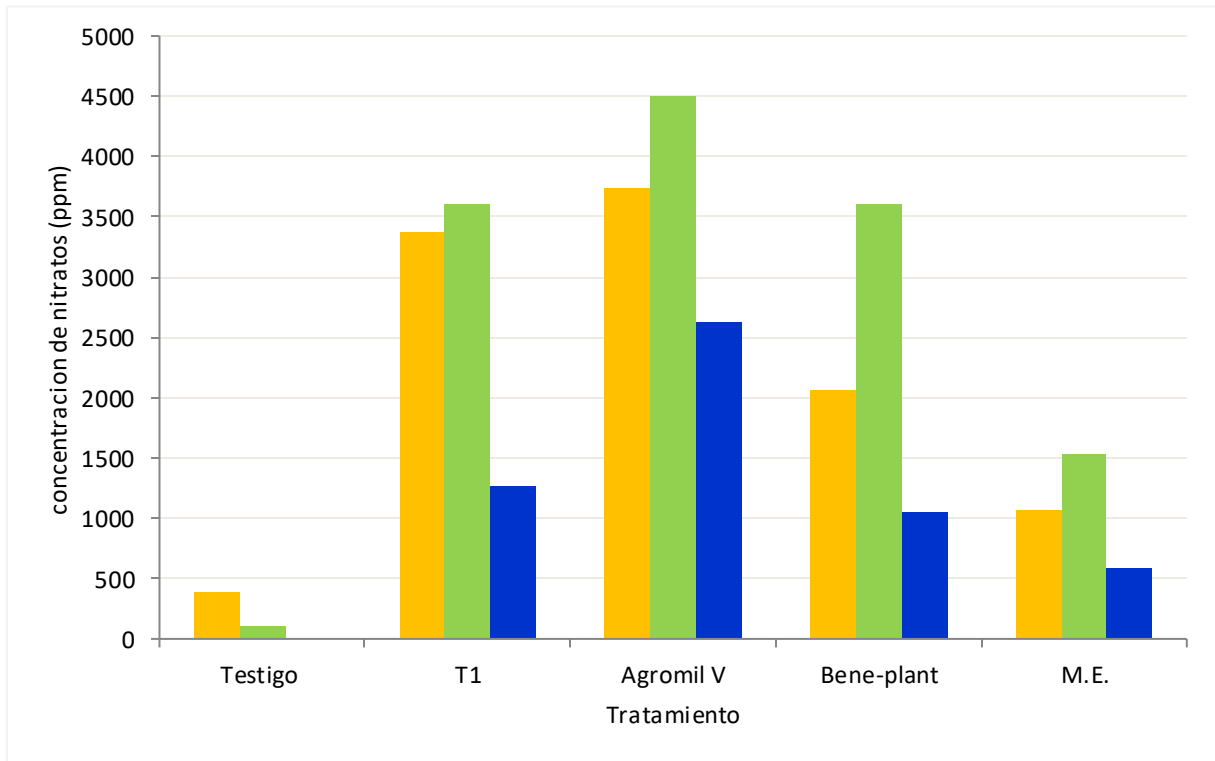


Figura 19.- Comparación de las concentraciones de nitratos en hojas externas, medias e internas de lechuga trocadero.

b) Clorofila

El tratamiento con OrganoDel presentó la mayor concentración de clorofila, a pesar de no tener una segunda aplicación del insumo (Fig.20), y las plantas testigo fueron las que presentaron la menor concentración de clorofila.

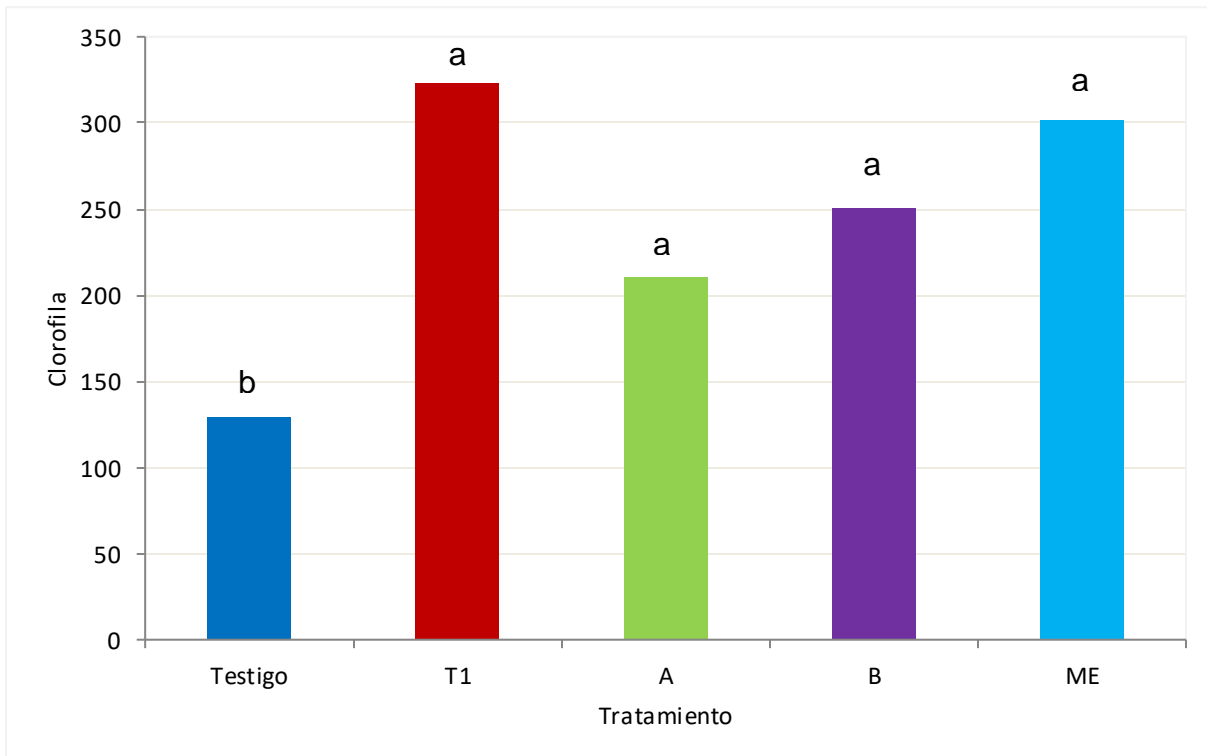


Figura 20.- Concentración de clorofila en lechuga trocadero por tratamiento.

Análisis estadístico ANOVA (F= 18.18, $P \leq 0.05$)

c) Nitrógeno, Fósforo y Potasio (K) en el sustrato de cultivo al momento de la cosecha

El sustrato que presentó la mayor concentración de nitrógeno al momento de la cosecha fue el de Agromil V y el sustrato que presentó la mayor concentración de fósforo fue el del insumo artesanal. En relación al potasio Agromil V, Bene-plant y ME no presentaron diferencias con 160 ppm, o intermedio en relación a los otros tratamientos (Cuadro 4).

Cuadro 4.- Concentración de NPK en el sustrato del cultivo de lechuga trocadero (análisis realizado con el equipo de La Motte).

Tratamiento	Etapa	N ppm	P ppm	K ppm
Testigo	Trasplante	60	87.5	100
Tratamiento 1	Trasplante	150	150	180
Testigo	Cosecha	60	50	100
Tratamiento1	Cosecha	100	100	130
Agromil V	Cosecha	>150	175	160
Bene-plant	Cosecha	125	200	160
M.E.	Cosecha	150	>200	160



Figura 21.- Pruebas de NPK realizadas con instrumentos de La Motte.

d) pH.

Para medir el pH se utilizó un pH-metro portátil calibrado, de acuerdo con las instrucciones comerciales, se realizó una solución 1:3 con el sustrato, y agua destilada.

El pH óptimo para el sustrato de crecimiento de las lechugas, se encuentra entre 6.7 y 7.4, permitiendo la correcta absorción de los nutrientes (7).

El pH del sustrato al momento del trasplante, permitió la disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre, zinc y molibdeno y en el extremo más alto en menor cantidad fósforo, hierro boro, cobre y zinc.

Cuadro 5.- pH promedio en los sustratos a los 15, 45 y 75 días después del trasplante.

Tratamiento	Trasplante	45 días	Cosecha
Testigo	6.56	7.23	7.58
T1	7.88	7.90	8.93
Agromil		7.67	8.91
Beneplant		7.63	8.78
M.E.		7.69	8.74

Análisis estadístico ANOVA (F=4.59, P≤0.05)

e) Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica obtenida en el equipo horiba en una dilución 1:5 oscilo entre 0.133 y 0.475 dSm^{-1} 45 días después del trasplante, y entre 0.060 y 0.306 dSm^{-1} al momento de la cosecha, no presentando diferencias significativas entre los tratamientos ($p \geq 0.05$).

Cuadro 6.- Conductividad eléctrica promedio en los diferentes sustratos del cultivo de la lechuga (dSm^{-1})

Tratamiento	45 días	Cosecha
Testigo	0.133	0.060
T1	0.388	0.306
Agromil V	0.365	0.104
Beneplant	0.475	0.205
M.E.	0.335	0.127

Análisis estadístico ANOVA ($F=1.67$, $P \geq 0.05$)

*(Resultados dados por medidor horiba expresados en microsiemens/m, convertidos en calculand.com)



Figura 22.- Medidor Horiba para conductividad eléctrica.

f) Costo/Beneficio

La relación Costo/beneficio, se calculó realizando el valor para cada insumo adicionado a las plantas de lechuga. El costo total de las plantas adicionadas con Microorganismos eficientes fue de \$533.88, para una producción de 12 lechugas, teniendo un precio unitario de \$44.49 (Cuadro 7). El costo de las plantas que fueron adicionadas con Agromil V fue de \$529.26 para la producción de 12 lechugas, se tiene un precio unitario de \$44.10 (Cuadro 8). El costo para las 12 plantas con Bene-plant el costo fue el más alto (\$564.19), con un valor unitario de \$47.01 (Cuadro 9).

Tomando en consideración el precio de las lechugas trocadero de venta online, que es de \$88 precio unitario (por pieza); se obtuvo una relación costo beneficio de \$1.97 para el cultivo adicionado con microorganismos eficientes, de \$1.99 para el cultivo adicionado con Agromil V y de 1.87 para el cultivo adicionado con Bene-plant, indicando que el cultivo de la lechuga trocadero con el uso de cualquiera de los insumos, es económicamente rentable.

Cuadro 7.- Costo de producción de lechugas trocadero, adicionadas con Microorganismos Eficientes.

Insumo	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$ M.N	Importe total \$ M.N
Semillas de lechuga	800	Piezas	25	0.031
Microorganismos eficientes	8	L	467.2	5.25
Mano de obra *	30	Horas	17.62	528.6
Total			509.87	533.88
Precio unitario			\$44.49	

*Tomando como salario mínimo el \$141.70, para CDMX 2022

Cuadro 8.- Costo de producción de lechugas trocadero, adicionadas con Agromil V.

Insumo	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$ M:N	Importe total \$ M.N
Semillas de lechuga	800	Piezas	25	0.031
Agromil V	1	L	630	0.63
Mano de obra *	30	Horas	17.62	528.6
Total			672.62	529.26
Precio unitario			\$ 44.10	

*Tomando como salario mínimo el \$141.70, para CDMX 2022

Cuadro 9.- Costo de producción de lechugas trocadero, adicionadas con Bene-plant.

Insumo	Cantidad	Unidad	Precio unitario \$M.N	Importe total \$ M.N
Semillas de lechuga	800	Piezas	25	0.031
Bene-plant	1	kg	449	35.56
Mano de obra *	30	Horas	17.62	528.6
Total			491.62	564.19
Precio unitario			\$ 47.01	

*Tomando como salario mínimo el \$141.70, para CDMX 2022

X. DISCUSIÓN

10.1 Calidad de los sustratos

pH

De acuerdo con el análisis de la calidad de los sustratos realizado en el Laboratorio Central de la Universidad de Chapingo, el pH del sustrato adicionado con el insumo artesanal (microorganismos eficientes) fue de 8.04 o medianamente alcalino, lo que indica que los elementos disponibles en el suelo son, nitrógeno, potasio, azufre, calcio, magnesio y molibdeno y en menor cantidad, fósforo, hierro, manganeso, boro, cobre y zinc. Los sustratos que fueron adicionados con Bene-plant y Agromil V presentaron un pH de 7.80 y 7.92 o ligeramente alcalinos, en donde los elementos disponibles son los mismos presentes que en el caso de la aplicación de microorganismos eficientes. Lardizábal (2009) establece que el pH óptimo del cultivo de la lechuga francesa esta entre 5.5 y 6.5 teniendo disponibles el nitrógeno, hierro, manganeso, boro, cobre y zinc y en menor cantidad, potasio, azufre, calcio, magnesio y molibdeno, y en poca disponibilidad, el fósforo.

El pH en el Testigo (Tierra de monte) fue de 6.56, teniendo como nutrientes disponibles, el nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre, zinc y molibdeno y en el Tratamiento 1 (OrganoDel) fue de 7.88, teniendo la disponibilidad de nitrógeno, potasio, azufre, calcio, magnesio, manganeso, y molibdeno y en menor disponibilidad fósforo, hierro, boro, cobre y zinc, en este caso el pH es moderadamente ácido a medianamente alcalino (NOM-021-RECNAT-2000).

Después de 45 días el pH para los diferentes sustratos osciló entre 7.23 y 7.90, lo que indica un pH de neutro a medianamente alcalino, con disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre, zinc y molibdeno, y en los medianamente alcalinos nitrógeno, potasio, azufre, calcio, magnesio, manganeso, y molibdeno y en menor disponibilidad fósforo, hierro, boro, cobre y zinc.

El pH de los sustratos al momento de la cosecha (75 días después del trasplante) osciló entre 7.58 y 8.93 o medianamente a fuertemente alcalino, con disponibilidad de nitrógeno, potasio, azufre, calcio, molibdeno, magnesio y fósforo, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre y zinc. El testigo (Tierra de monte) presentó el menor valor y Tratamiento 1 (OrganoDel) presentó el mayor valor (Cuadro 5).

En general el pH para todos los tratamientos osciló entre neutro y fuertemente alcalino, con buena disponibilidad de los macro y microelementos esenciales para el crecimiento de las plantas.

Conductividad eléctrica

Los resultados obtenidos en el laboratorio de suelos de la UACH determinaron que la conductividad eléctrica del sustrato adicionado con Agromil fue de 1.81 dS/m o muy ligeramente salino, lo que afecta el rendimiento de cultivos muy sensibles, (Zolezzi, 2017). El mismo autor menciona que una salinidad arriba de 1 dS/m, reduce el crecimiento y rendimiento de lechugas y puede contribuir a la formación de un área salinizada en la superficie del suelo.

El sustrato adicionado con microorganismos eficientes presentó una salinidad de 1.68 dS/m, o muy ligeramente salino, por lo tanto, al igual que el sustrato adicionado con Agromil V puede afectar el rendimiento de cultivos muy sensibles. El sustrato adicionado con Bene-plant presentó una salinidad de 3.75 o ligeramente salino, y con posibilidad de afectar el rendimiento de cultivos sensibles, y en el cultivo de lechuga los problemas de salinidad pueden ser muy graves. Zolezzi (2017) también menciona que, en esos casos, se deben implementar medidas de manejo, tales como lavado frecuente de sales.

Los resultados de las pruebas de conductividad eléctrica realizadas en el vivero Chimalxochipan a los 45 días después del trasplante, los cuales fueron menores a 0.75 dS/m, lo cual no representa ningún riesgo, ya que es clasificado como sin salinidad, de acuerdo con la intensidad de salinidad en el suelo según la FAO (2021).

La disminución de la conductividad eléctrica a los 45 días después del trasplante, pudo ser debido a los riegos moderados mantenidos durante el cultivo y a las precipitaciones presentes durante esa época del año (Julio) lo cual en ambos casos contribuyeron al lavado de las sales, además es importante mencionar que el cultivo en ningún momento de las etapas de su desarrollo para los diferentes sustratos presentó sintomatologías relacionadas con un exceso de sales como son reducción en el crecimiento y desarrollo de la planta disminuyendo el rendimiento agrícola (Lamz, 2013). De acuerdo con Sarmiento (2019) la aplicación de microorganismos eficientes a su cultivo, indicó niveles de salinidad óptimos, e indica que Ríos (2015) y Combatt (2017) también reconocieron los efectos beneficios de la aplicación de microorganismos eficientes a los suelos, ya que se recupera y se mejora la fertilidad, debido al incremento de la actividad microbiana del suelo, pudiendo contribuir en un incremento de la actividad rizosférica y por lo tanto a una mayor tasa de asimilación de nutrientes.

Densidad aparente

La determinación de la densidad aparente permite ver la facilidad de la penetración de las raíces al suelo, la predicción de la transmisión de agua, y la transformación de los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica (Flores, 2010). Los suelos de textura fina, bien estructurados y con altos contenidos de materia orgánica presentan valores más bajos de densidad aparente que los suelos de textura gruesa, poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica, de acuerdo con Schargel y Delgado (1990).

La densidad del suelo es un buen indicador de propiedades importantes del suelo, como son la compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, lo que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de establecimiento de las plantas y el manejo del suelo.

De acuerdo a lo establecido en la NOM-021-RECNAT-2000, la densidad aparente reportada para los sustratos que fueron adicionados con insumos biológicos (0.83-0.97) son clasificados como suelos orgánicos y volcánicos, el sustrato de las plantas testigo, se clasifica como un suelo arcilloso.

Materia orgánica

La materia orgánica (MO) es el producto de la descomposición de vegetales y animales muertos, permite al sustrato almacenar gran cantidad de agua y es rico en minerales (FAO, 2009). Los sustratos de las lechugas que fueron adicionadas con Agromil V, Bene-plant y microorganismos eficientes presentaron un alto contenido de materia orgánica, oscilando entre 16.81 a 17.82%, el adicionado con OrganoDel y el testigo presentan 13.72 a 8.61% o medio- alto contenido de MO, esto de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

De acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, la CIC es una propiedad química a partir de la cual es posible inferir acerca del tipo de arcilla presente, de la magnitud de la reserva nutrimental y del grado de intemperismo en los suelos, el resultado numérico de la determinación sirve como base del cálculo del porcentaje de saturación de bases. Los resultados de los análisis realizados a los sustratos adicionados con Agromil V, Bene-plant y M.E., oscilan entre 39.7 y 42.5 Cmol/kg o fertilidad alta a muy alta, el sustrato con OrganoDel y el sustrato testigo, presentaron una CIC menor, lo que indica menor habilidad de retener nutrientes, ésta CIC baja, está estrechamente relacionada con la menor cantidad de Materia orgánica presente en dichos suelos.

Nutrientes del suelo

El Nitrógeno promueve el desarrollo de las hojas y el crecimiento de brotes, además de ser alimento de microorganismos del suelo, lo que favorece la descomposición de la materia orgánica por un proceso de desnitrificación. De acuerdo con Fernández (2006) y a los criterios de evaluación de un suelo con base a su contenido de nitrógeno total, los cinco sustratos utilizados en este trabajo son extremadamente ricos en nitrógeno, ya que cuentan con un porcentaje mayor a 0.221 %.

De acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000 en la determinación de Nitrógeno inorgánico del suelo, los sustratos utilizados en este trabajo se pueden clasificar como: alto (testigo) y muy alto (sustratos adicionados con insumos

biológicos), debido a que su cantidad de Nitrógeno osciló entre 46.8 mg/kg a 284.7 mg/kg

El fósforo (P) en el suelo se clasifica en fósforo orgánico e inorgánico dependiendo de la naturaleza de los compuestos, la forma orgánica se encuentra en humus y la materia orgánica, la forma inorgánica está constituida por compuestos de hierro, aluminio, calcio, flúor, entre otros y normalmente son más abundantes que los compuestos orgánicos

El P es un macro nutriente esencial para las plantas y microorganismos, puede ser un nutriente limitante, ya que es un componente de ácidos nucleicos y fosfolípidos, generalmente los análisis de P sirven para la dosificación de productos químicos en tratamientos de suelo. El fósforo es un nutriente de baja disponibilidad en el suelo, a pesar de ser relativamente abundante. Los sustratos adicionados con insumos biológicos además del sustrato testigo, presentaron una concentración de fósforo entre 899.9 – 4100 mg/kg, lo cual de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 corresponden un contenido de fósforo alto.

El Mg es fundamental para los cultivos, se encuentra vinculado con el proceso de la fotosíntesis, dado que forma parte de la estructura de la clorofila. La presencia de magnesio en la clorofila es necesaria para que ocurran las reacciones fotosintéticas y, por lo tanto, la producción de carbohidratos. El transporte de carbohidratos desde las hojas hasta los tejidos que crecen activamente en las raíces de las plantas, en los brotes y en los órganos reproductivos, requiere niveles adecuados de magnesio. Una deficiencia de magnesio puede reducir el crecimiento de raíces o brotes y potencialmente el peso de las semillas o frutos (Agrisight, 2020). Los principales síntomas asociados a la deficiencia de Mg en las plantas son: retraso en el crecimiento y tallos delgados y largos, se desarrolla una clorosis intervenal de color amarillo claro en la zona media de las hojas viejas, que avanza hacia la punta y la base de las hojas, en caso de deficiencia severa de Mg la clorosis evolucionará hacia franjas color café, posteriormente las puntas como los márgenes de las hojas se volverán café oscuro y se necrosarán causando la muerte prematura de las células del tejido foliar.

El contenido de Mg para todos los sustratos de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 fue muy baja a baja, (menor de 0.5 Cmol/kg) el cual osciló entre 0.04 -0.57 Cmol/kg; sin embargo, a pesar del contenido bajo de Mg, las lechugas presentaron cantidades óptimas de clorofila, permitiendo el proceso de fotosíntesis en las plantas de lechugas adicionadas con insumos comerciales, además de no presentar deficiencias nutrimentales en ninguna etapa del desarrollo de las plantas.

El Ca refuerza las membranas y paredes celulares, favorece la división y extensión celular, la modulación de las acciones hormonales y el crecimiento radicular (Ramos-González, 2019). De acuerdo con los análisis realizados en la UACH, los valores obtenidos de Ca en los sustratos de las lechugas oscilaron entre 0.209 y 0.395 Cmol/kg, comparándolos con los estándares dados por la NOM-021-RECNAT-2000, los valores antes mencionados se centran en la clasificación muy baja de Ca, lo que fisiológicamente fue perceptible, debido a que las lechugas presentaron las hojas externas flácidas.

10.2 Variables morfológicas

Las plantas de lechuga francesa presentaron una altura promedio entre los 6.5 y 23.5 cm, a los 75 días después del trasplante, dicha altura coincide con lo reportado por Hernández-Naranjo (2021) en su estudio de producción de *Lactuca sativa* L. irrigada con efluentes de tilapia, en donde la altura máxima promedio de las lechugas fue de 22.55 cm.

Contrastando los resultados con lo reportado por Sepúlveda-Prieto (2021) quien evaluó la altura de la lechuga var. cresspa con diferentes fuentes de fertilización, coincide con lo reportado en este trabajo, teniendo como resultado alturas máximas promedio de 23.20 cm obtenidas con el tratamiento organomineral.

La cobertura promedio tuvo una tendencia similar a la altura, además de presentar diferencias significativas de acuerdo a un estudio estadístico ANOVA. El cultivo donde el sustrato fue adicionado con Bene-plant presentó la mayor cobertura (34.06 cm²) en promedio. Las plantas de lechuga que tuvieron menor cobertura fueron las del testigo (10.85 cm²). La importancia de la cobertura vegetal radica en

la capacidad para interceptar la radiación fotosintética activa, la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de los tejidos y elaboración de compuestos alimenticios, además de ser parte de la estimación del rendimiento.

El número de hojas que presentaron las plantas de lechuga, osciló entre 11.83 y 29, siendo el tratamiento del sustrato con OrganoDel el que presentó mayor número de estas, comparándolo con el trabajo de Sepúlveda-Prieto (2021), el cual, en el cultivo de la misma variedad de lechuga y aplicando un tratamiento organomineral, el número máximo de hojas alcanzado fue de 18.65 por planta. El número de hojas reportado por Cali-Macas (2011) fue de un promedio máximo de 27.11, utilizando estiércol de lombriz en un cultivo de lechuga variedad Salad Bowl.

TCR

La tasa de crecimiento relativo representa el incremento de la biomasa de la planta por unidad de masa existente en un periodo de tiempo en condiciones óptimas para el crecimiento. En suelos con baja fertilidad, las plantas disminuyen las tasas de absorción de nutrientes y fotosíntesis presentando bajas tasas de crecimiento con un aumento en la susceptibilidad a factores de estrés, lo que provoca que las plantas inviertan más biomasa al sistema radical a costa de tener una menor biomasa en la parte aérea (Mayo-Mendoza,2018). Dicho esto, las plantas que el sustrato fue adicionado con Agromil V presentaron una tasa de crecimiento relativo mayor, en comparación con los otros insumos, teniendo un TCR de 0.0310 día^{-1}

Las plantas cuyo sustrato fue adicionado con microorganismos eficientes presentaron una relación Raíz/Vástago mayor (1.09) lo que indica, que existe un balance mayor en la biomasa aportada al vástago y la biomasa que es aportada a la raíz (Camargo,2006), las plantas que presentaron menor relación raíz/vástago, fueron aquellas que el sustrato fue adicionado con Bene-plant, con una relación de (0.35). Generalmente, mientras más estrecha es la relación tallo/raíz (cercana a 1) mayor es la posibilidad de supervivencia en sitios secos (Quiroz,2009).

Las lechugas que presentaron mayor ICD fueron las del sustrato adicionado con ME (18.08) teniendo diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Este índice Integra la relación entre la masa seca total de la planta, la suma del coeficiente de esbeltez y la relación del vástago y de la raíz (peso seco), además de expresar el equilibrio de la distribución de la masa y robustez. Comparado con Guzmán (2019) quien obtuvo en un cultivo adicionado con composta un valor máximo de 6.10 presentando la mejor calidad morfológica.

El tratamiento que presentó mayor rendimiento fue el adicionado con Bene-plant, con 0.90 Kg/m², con un peso promedio por planta de 100 g. Sepúlveda-Prieto (2021) obtuvo un rendimiento de 6.769 Kg/m², lo que es mayor a lo obtenido con el insumo Bene-plant. En comparación con Gonzáles Pérez (2013), quien realizó un cultivo de lechuga francesa en suelo, y obtuvo un peso unitario de 496.7g.

A pesar de las diferencias obtenidas con los autores previamente mencionados, el peso unitario de las lechugas que obtuvieron mayor rendimiento fue comparado con el peso de las lechugas francesas hidropónicas de venta comercial (EVA), las cuales tuvieron un peso aproximado de 145g por pieza.

Los nitratos son la forma estable de las estructuras oxidadas del nitrógeno, y pueden ser reducidos por acción microbiológica. La ingestión de nitratos puede resultar tóxica para la salud en humanos, debido a que se reduce a nitritos y compuestos N-nitrosos, los cuales son carcinogénicos. La lechuga es de los cultivos de hoja que más los acumula, lo cual varía entre los genotipos, la estación de cultivo y el uso de fertilizantes (Lara-Izaguirre *et al.*, 2019).

El Reglamento de la Comisión de Nitratos Europea (2011), establece para el cultivo de lechugas frescas cultivadas al aire libre, con una recolecta entre el 1 de abril y el 30 de septiembre, un contenido máximo de 3000 mg NO₃/Kg. Partiendo de este máximo de NO₃, y comparándolo con las plantas de lechuga que el sustrato fue adicionado con insumos orgánicos, cuyos valores de nitratos en las hojas osciló entre 105 y 4500 mg NO₃/kg, y de acuerdo a esto las plantas de lechuga adicionadas con Agromil V que fueron las que presentaron los valores más altos, no

son recomendables para el consumo humano. Las plantas cuyo sustrato fue adicionado con ME presentaron valores aceptables para el consumo humano. Comparando lo antes mencionado con las características morfológicas presentadas por las lechugas adicionadas con ME, se concluye como las mejores para el consumo humano. Los demás tratamientos, se encuentran dentro de lo aceptable, aunque su uso prolongado aumenta el riesgo de presentar las enfermedades antes mencionadas.

Se observó una tendencia, donde las hojas medias de las lechugas fueron las que presentaron los niveles más altos de nitratos. Esta cantidad de nitratos en las hojas de la lechuga tiene una estrecha relación a la cantidad de nitrógeno en el sustrato adicionado con Agromil V, ya que presentaron el mayor valor de dicho elemento.

Se pudo observar que la concentración de clorofila en las hojas tiene relación con los nitratos obtenidos de las mismas, según lo reportado por Barrera (2020), quien indica que las lechugas que se encontraban en policultivo presentaron mayor concentración de clorofila en las hojas y una menor concentración de nitratos, y las lechugas en monocultivo registraron menor contenido de clorofila y por lo tanto un mayor contenido de nitratos en hojas.

De acuerdo con lo anterior, las lechugas del Tratamiento 1 (OrganoDel) fueron las que presentaron mayor cantidad de clorofila en hojas, sin embargo, no fueron las que presentaron menor cantidad de nitratos en hojas (Testigo).

XI. CONCLUSIONES

- El insumo artesanal de ME resultó igualmente eficiente en el crecimiento y rendimiento de la Lechuga trocadero (*Lactuca sativa* var *crispa* L.), con las mismas características morfológicas y de rendimiento que las cultivadas con los insumos comerciales OrganoDel, Agromil V y Bene-plant.
- Las plantas de lechuga cultivadas con el insumo artesanal desarrollaron una mejor relación Raíz/Vástago.
- La concentración de nitratos en las hojas de las lechugas cultivadas con el insumo artesanal se registró por debajo de los límites máximos establecidos por la Comisión Europea, por lo que son las mejores para el consumo humano de manera prolongada, no así para las lechugas cultivadas con Agromil V, cuyos contenidos de nitratos en hojas sobrepasaron los límites establecidos por la Comisión Europea, para el consumo humano.
- El pH y la CE no se ve modificada con ninguno de los tratamientos evaluados, lo que indica una adecuada disponibilidad de nutrientes y un nulo riesgo de salinización del sustrato.
- El sustrato adicionado con ME presenta mejores concentraciones de N, P, K, durante el desarrollo de las lechugas, como al momento de la cosecha.
- La relación beneficio/costo de los tres cultivos con ME de lechuga trocadero es rentablemente económicamente comparada con el precio de las lechugas orgánicas comercializadas en el mercado nacional.
- La hipótesis del trabajo se cumplió parcialmente, ya que la valoración de los insumos comerciales resultó igual de eficiente que los ME elaborados artesanalmente, sin embargo, los ME presentan ventajas mayores como una mayor razón raíz/vástago y una menor concentración de nitratos en sus hojas, lo cual es favorable para el consumo humano.

XII. REFERENCIAS

- Alarcón Camacho, Juan, Recharte Pineda, David Carlos, Yanqui Díaz, Franklin, Moreno Llacza, Sarita Maruja, & Buendía Molina, Marilyn Aurora. (2020). Fertilizar con microorganismos eficientes autóctonos tiene efecto positivo en la fenología, biomasa y producción de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 67-73.
- Altieri M. A. (1999) Agroecología, Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan-comunidad.
- Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA), (2017) “La Agricultura orgánica involucra mucho más que no usar agroquímicos”; blog de Agricultura Orgánica.
- Barrera C. (2020) Concentración de nitratos en lechuga orejona (*Lactuca sativa* L. var. Parris Island) en un cultivo intercalar con hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.) Tesis para obtener el grado de bióloga. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Calero-Hurtado, A., Quintero-Rodríguez, Elieni, Olivera-Viciedo, Dilier, Pérez-Díaz, Yanery, Castro-Lizazo, Iván, Jiménez, Janet, & López-Dávila, Edelbis. (2018). Respuesta de dos cultivares de frijol común a la aplicación foliar de microorganismos eficientes. *Cultivos Tropicales*, 39(3): 5-10.
- Calero Hurtado, A., Quintero Rodríguez, E.; Pérez Díaz, Y.; González-Pardo Hurtado, Y.; González Lorenzo, T.N. (2019). Microorganismos eficientes y vermicompost lixiviado aumentan la producción de pepino Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 22(2):e1167. <http://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1167>
- Calero, A., Quintero, E., Pérez, Y., Olivera, D., Peña, K., Castro, I. & Jiménez, J. (2019). Evaluación de microorganismos eficientes en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 36(1): 67-78 doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.193601.99>
- Castellanos J. (2000) Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas, 2da edición, Gto. México, pp 186.

- Comisión Europea (2011) Reglamento No. 1258/2011 que modifica el Reglamento (CE) no. 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de nitratos en los productos alimenticios. Diario Oficial de la Unión Europea.
- Escalona-Aguilar M. (2011) Microorganismos efectivos: su extracción y uso. Facultad de Ciencias Agrícolas, Cuerpo Académico “Tecnologías Alternativas para la Agricultura Sustentable”
- Flores Delgadillo, L. Alcalá Martínez, J. (2010) Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de Física de Suelos, Departamento de Edafología, UNAM.
- Garrido S, (1993) Interpretación de análisis de suelos. Hojas divulgadoras Núm. 5/93, Ministerio de Agricultura Pesca y alimentación, secretaria general de Estructuras Agrarias.
- Galecio-Juica M., León-Huamán K., Aguilar-Ancota R. (2020) Efecto de fuentes orgánicas y microorganismos eficientes en el rendimiento del cultivo de banano orgánico (*Musa spp.* L.). Manglar 17(4) :301 - 306
- Gonzales-Ojeda E. (2018) Rendimiento de jitomate guaje (*Lycopersicum esculentum* mill.) en un cultivo intercalar con caléndula (*Calendula officinalis* L.) y con la aplicación de microorganismos eficientes. / Tesis para obtener el título de licenciado en Biología, UNAM. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- González-Pérez L., Zepeda-López A. (2013) Rendimiento de cinco variedades de Lechuga *Lactuca sativa* L. tipo gourmet ciclo primavera- verano [Tesis profesional, Universidad Autónoma de San Luis Potosí
- Guberteau A, Labrador A. (1991) Técnicas de cultivo en agricultura ecológica. “Hojas divulgadoras” Ministerio de Agricultura pesca y alimentación. Secretaria General de Estructuras Agrarias
- Gutiérrez-Queupil J. (2011) Comportamiento de tres cultivares de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Evaluados al aire libre en Valdivia [Tesis profesional, Universidad Austral de Chile]
- Guzmán-Estrella E. (2019) Acumulación de nitratos en hijas de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *trocadero*) bajo cultivo orgánico / Tesis para obtener el título de licenciado en Biología, UNAM. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

- Hernández-Naranjo R, Neri-Ramírez E, Astudillo-Sánchez C, Delgado-Martínez R, Rivera-Ortiz P, Gonzales-Alanís P, Vázquez-Sauceda M. (2021) Producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) Irrigada con efluentes de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en un sistema acuapónico. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, Oaxaca, Vol. 8, No. 2, 2021.
- Journal Nutrición Mineral (2020) Importancia del Magnesio en la producción de cultivos. *Compo expert*.
- Lamz Piedra, Alexis, & González Cepero, María C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31-42.
- Luna-Barreda J. (2019) Control de nematodos e incremento del rendimiento en jitomate guaje (*lycopersicon esculentum mill. var. el cid f1*) con microorganismos eficientes (*Trichoderma spp.*) en invernadero. / Tesis para obtener el título de licenciado en Biología, UNAM. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Luna Feijoo, M. A., & Mesa Reinaldo, J. R. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista científica Agroecosistemas [seriada en línea]*, 4 (2), 31-40.
- Norma Oficial Mexicana (2002) NOM-021-RECNAT-2000 Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] (2003) *Agricultura Orgánica, Ambiente y seguridad alimentaria*. Roma ISBN 92-5-304819-0
- Paterlini, Hernán, González, María Virginia, & Picone, Liliana Inés. (2019). Producción de lechuga en un suelo con aplicación de compost de cama de pollo. *Ciencia del suelo*, 37(1), 38-50.
- Pérez-Barraza, M. H., Vázquez-Valdivia, V., Osuna-García, J. A., & Urías-López, M. A. (2009). Incremento del amarre y tamaño de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo' con reguladores de crecimiento. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15(2), 183-188.

- Quiroz Marchant I, García Rivas E, Gonzales Ortega M, Chung Guin-Po P, Soto Guevara H, (2009) Vivero forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta. Centro Tecnológico de la Planta Forestal, Chile, Ministerio de Agricultura.
- Ramos Agüero, David, Terry Alfonso, Elein, Soto Carreño, Francisco, Cabrera Rodríguez, Juan. (2014) Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. Cultivos Tropicales, 35(2) La Habana.
- Ramos Agüero, David, Terry Alfonso, Elein. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos Tropicales, 35(4), 52-59. Ríos-Carmenado, Ignacio De Los, Becerril-Hernandez, Hilario, Rivera, María. (2016). La agricultura ecológica y su influencia en la prosperidad rural: visión desde una sociedad agraria (Murcia, España). Agrociencia, 50(3), 375-389.
- Ramos-Gonzalez, R. Orozco-Almanza M. Monroy-Ata, A. Rojas-Cortes, M. (2019) Cultivo de tres especies aromáticas en un huerto vertical con dos abonos orgánicos. Agroproductividad Vol. 12, No. 3, marzo 2019 pp41-46.
- Sandoya V, Bosques J, Vasilleros V, (2021) La producción de lechuga en sistemas hidropónicos a pequeña escala. Departamento de Horticultura.
- Sepúlveda-Prieto G. (2021) Evaluación de la respuesta de lechuga (*Lactuca sativa*) cv. *Crespa* verde a diferentes fuentes de fertilización mineral, orgánica y organomineral. Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas, Bogotá, Colombia.
- Tanya Morocho, Mariuxi, Leiva-Mora, Michel. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. Centro Agrícola, 46(2), 93-103.

12.1 Netgrafía

- 1) Lechuga *Lactuca sativa* L.
https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/lechuga_tcm30-102416.pdf
- 2) <https://www.inocuidadlatam.com/index.php/3593-microorganismos-eficientes-y-los-beneficios-para-el-agricultor.html>)
- 3) ¿Por que los bioinsumos son clave para la produccion sustentable?
<https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Por-qu%C3%A9-los-bioinsumos-son-clave-para-la-producci%C3%B3n-sustentable.aspx>
- 4) Bioremediador de suelos, 5 microorganismos 1Kg.
https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-852216107-bene-plant-bio-remediador-de-suelos-5-microorganismos-1kg-_JM
- 5) Agromil V 1Lt Potencializador Crecimiento de plantas
https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-550583955-agromil-v-1lt-potencializador-crecimiento-de-plantas-_JM
- 6) OrganoDel Jardín Fertilizante Orgánico Natural
http://www.agrodelta.com.mx/productos/organodel_jardin.html
- 7) Monografia de la lechuga, Gobierno de Tamaulipas.
<https://www.tamaulipas.gob.mx/campo/wp-content/uploads/sites/40/2019/09/lechuga.pdf>

XIII. ANEXOS

1. Análisis de calidad de sustratos.



26 DE JUNIO DE 2023.
No. DE OFICIO: 101

USUARIO: **LAURA ANGELICA LEDEZMA SAUCEDO**

PROCEDENCIA: F.E.S. ZARAGOZA IXTAPALAPA, CIUDAD DE MÉX.

TIPO DE MUESTRA: **SUSTRATO (2 MUESTRAS)**

Nº CONTROL	pH	C. E. dS m ⁻¹	M. O. %	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	Na %
S-654	6.50	0.23	8.61	0.61	0.09	0.10	0.46	0.22	0.12
S-655	7.33	7.57	13.72	0.96	0.19	0.59	0.74	2.02	0.31

Nº CONTROL	C. I. C. cmol(+) Kg ⁻¹	Fe %	Cu mg kg ⁻¹	Zn mg kg ⁻¹	Mn mg kg ⁻¹	B mg kg ⁻¹	C/N	Dens. Apar. g cm ⁻³
S-654	21.3	1.96	36.00	134.00	377.00	270.09	14.4	1.06
S-655	28.3	1.43	54.00	336.25	472.50	278.01	13.3	0.97

METODOLOGIA:

pH: POTENCIOMETRICO RELACIÓN MUESTRA:AGUA, 1:5.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (C.E.): POTENCIOMETRICO RELACIÓN MUESTRA:AGUA, 1:5.

MATERIA ORGÁNICA (M. O.): WALKLEY Y BLACK.

NITROGENO TOTAL (N Tot.): DIGESTADO CON MEZCLA DIACIDA Y DETERMINADO POR ARRASTRE DE VAPOR.

FOSFORO (P): DIGESTADO CON MEZCLA DIACIDA Y DETERMINADO POR FOTOCOLORIMETRIA POR

REDUCCION CON MOLIBDO-VANADATO.

POTASIO (K): DIGESTADO CON MEZCLA DIACIDA Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE EMISION DE FLAMA.

CALCIO, MAGNESIO, HIERRO, COBRE, ZINC, MANGANESO (Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn): DIGESTADO CON MEZCLA DIACIDA Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA.

BORO (B): DIGESTADO CON MEZCLA DIACIDA Y DETERMINADO POR FOTOCOLORIMETRIA CON AZOMETINA-H.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC): ACETATO DE AMONIO 1.0 N pH 7.0 Y DETERMINADO POR ARRASTRE DE VAPOR.

RELACION CARBONO NITROGENO (C:N): ESTIMADO POR CÁLCULO.

DENSIDAD APARENTE (DAP.): METODO DE LA PROBETA

IDENTIFICACION:

S-654: MUESTRA 1 TESTIGO.

S-655: MUESTRA 2 TESTIGO1.

ATENTAMENTE.

ING. ARTURO JIMÉNEZ LÓPEZ

JEFE DEL LABORATORIO CENTRAL UNIVERSITARIO

2. Análisis de calidad de sustratos.



23 DE NOVIEMBRE DE 2022.
No. DE OFICIO:83

USUARIO: **LAURA ANGELICA LEDEZMA SAUCEDO**

PROCEDENCIA: F.E.S. ZARAGOZA

TIPO DE MUESTRA: SUSTRATO (3 MUESTRAS)

Nº CONTROL	pH	CE dSm ⁻¹	MO %	N %	P %	K %	Na %	Ca %	Mg %
S-886	7.92	1.81	17.82	1.84	0.21	0.57	0.32	0.79	0.91
S-887	8.09	1.68	16.81	1.14	0.14	0.55	0.32	0.93	0.86
S-888	7.80	3.75	16.81	1.31	0.41	0.69	0.40	0.94	0.89

Nº CONTROL	CIC Cmol(+) Kg ⁻¹	Fe %	Cu mgKg ⁻¹	Zn mgKg ⁻¹	Mn mgKg ⁻¹	B mgKg ⁻¹	Dens. Apar. tm ⁻³	C/N
S-886	39.7	2.74	86.00	120.75	358.50	229.70	0.86	7.1
S-887	42.5	2.85	83.25	118.50	367.50	104.43	0.85	12.0
S-888	42.1	2.91	90.50	116.50	369.25	162.48	0.83	10.5

METODOLOGIA:

pH: POTENCIOMETRICO EN SUSPENSIÓN MUESTRA: AGUA, 1.5.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE): PUENTE DE CONDUCTIVIDAD EN SUSPENSIÓN MUESTRA: AGUA, 1.5.

MATERIA ORGANICA (MO): WALKLEY Y BLACK.

NITROGENO (N): DIGESTADO CON MEZCLA DIACIDA Y DETERMINADO POR ARRASTRE DE VAPOR KJELDAHL.

FOSFORO (P): DIGESTADO CON MEZCLA DIACIDA Y DETERMINADO POR FOTOCOLORIMETRIA POR REDUCCION CON MOLIBDO-VANADATO.

POTASIO, SODIO (K, Na): DIGESTADO CON MEZCLA DIACIDA Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE EMISION DE FLAMA.

CALCIO, MAGNESIO, HIERRO, COBRE, ZINC, MANGANESO (Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn): DIGESTADO CON MEZCLA DIACIDA Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC): ACETATO DE AMONIO 1.0 N pH 7.0 Y DETERMINADO POR ARRASTRE DE VAPOR.

BORO (B): DIGESTADO CON MEZCLA DIACIDA Y DETERMINADO POR FOTOCOLORIMETRIA DE AZOMETINA-H.

DENSIDAD APARENTE (DAP.): METODO DE LA PROBETA

RELACIÓN CARBONO/NITROGENO (C/N): ESTIMADO POR CALCULO.